

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
und dem Tropeninstitut
der Justus Liebig-Universität Gießen
Abt.: Bodenkunde und Bodenerhaltung
Abt.-Leiter: Professor Dr. L. Jung

**Der Einfluß der Bodenerosion auf die Böden
des Medjerda-Tales und seiner Randgebiete**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Dipl. Landw. Rainald Brechtel
geb. in Dieburg/Hessen

Gießen 1970

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
und dem Tropeninstitut
der Justus Liebig-Universität Gießen
Abt.: Bodenkunde und Bodenerhaltung
Abt.-Leiter: Professor Dr. L. Jung

**Der Einfluß der Bodenerosion auf die Böden
des Medjerda-Tales und seiner Randgebiete**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Dipl. Landw. Rainald Brechtel
geb. in Dieburg/Hessen

Gießen 1970

Aus dem Institut für Botanik und Bodenbau
und dem Tropeninstitut
der Universität Leiden
Abt. Botanik und Bodenbau
Abt. Leiter: Professor Dr. L. Jung

Der Einfluss der Bodenverhältnisse auf die Boden
des Modells-Terra und seiner Kandelaber

INVAUGURAL-DISSERTATION

von
der Fakultät der
Universität Leiden



- Dekan: Prof. Dr. F. Großmann
1. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Jung
 2. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Schönhals

Tag der mündlichen Prüfung: 20. März 1970

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	5
2. Allgemeines über Tunesien	7
2.1 Klima und Ackerbau in geschichtlicher Zeit	10
3. Beschreibung des Untersuchungsgebietes	14
3.1 Klima des Untersuchungsgebietes	16
3.2 Geologischer Überblick des Untersuchungsgebietes	18
3.3 Topographie des Untersuchungsgebietes	19
4. Untersuchungsmethoden	21
5. Die Böden des Untersuchungsgebietes	24
5.1 Die Bodenbildung im Untersuchungsgebiet	24
5.2 Tonverlagerung und Tonmineralgehalt der Böden	28
5.3 Das Verhalten der Böden gegen Boden-erosion auf Grund ihrer Kornzusammensetzung	29
5.4 Beschreibung der ausgewählten Profile	30
6. Die Bodenerosion im Untersuchungsgebiet	38
6.1 Bodenprobenentnahme	39
6.2 Lage und Beschreibung der Profilreihen	40
6.3 Erläuterung zur Erosionskarte	77
6.4 Erläuterungen zur Gefahrenstufenkarte	78
6.5 Die Beeinflussung der Bodenbildung durch die Bodenerosion und die Erodierbarkeit der Hangböden	80

	<u>Seite</u>
7. Bodenschützende Maßnahmen und Bodennutzungskarte	84
8. Zusammenfassung	91
9. Literaturverzeichnis	93
10. Bilder	100

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit behandelt die Böden und ihre Beeinflussung durch die Bodenerosion in einem der wichtigsten Ackerbaugebiete Tunesiens, dem Medjerda-Tal.

Die Bodenerosion kann im semi-ariden Gebiet auf viel stärkere Art und Weise wirksam werden als im humiden Bereich. Die Niederschlagsmengen sind zwar geringer, die Regenintensität kann aber ungleich höher werden, so daß bei Starkregen eine unsortierte Verlagerung von Bodenmaterial erfolgt, während es unter humiden Verhältnissen mehr zu einer Wegführung der feineren Bodenbestandteile kommt.

Der schützende Einfluß der Vegetation ist in weiten Gebieten durch die Wirtschaftsweise des Menschen beseitigt worden.

Die Schadenswirkung der Starkregen wird nur stellenweise durch eine spärliche Pflanzendecke gemildert. Daher ist der Bodenabtrag auf großen Flächen zu beobachten, sobald das Gelände ein geringes Gefälle aufweist.

Die Bodenentwicklung im semi-ariden Bereich wird durch Erosionsvorgänge in sehr viel höherem Maße beeinflusst als dies im humiden Klima der Fall ist.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Ausmaß der Bodenerosion auf verschiedenen Böden in unterschiedlichen Hanglagen und Nutzungsformen. Insbesondere soll aufgezeigt werden, in welcher Form sich die Bodenprofile an den Hangflächen durch die Verlagerungsvorgänge verändern und welche Faktoren (Vegetation, Neigung, Hangform u.a.m.) diese Verlagerungsvorgänge beschleunigen oder hemmen.

Es wurden typische Bodenprofile aufgegraben, Bodenproben entnommen und analysiert.

Die Bodenprobenentnahme erfolgte auf den Hangflächen nach einem zweckmäßigen Schema, um die bisherigen Schäden durch Bodenerosion festzustellen. Die Auswertung der Analyseergebnisse, die Feldbeobachtung und die Auswertung von Luft-

bildern ermöglichte die Erstellung einer Gefahrenstufenkarte, die die Möglichkeiten einer geeigneten Landnutzung aufzeigt und darüber hinaus Auskunft gibt, welche Flächen der landwirtschaftlichen Nutzung ganz oder teilweise entzogen werden müssen.

Der Verfasser hatte Gelegenheit, insgesamt fünf Monate in Tunesien zu verbringen, in deren Verlauf die Feldarbeiten und Probeentnahmen erfolgten.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Afrika-Kartenwerks durchgeführt und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert, der an dieser Stelle sehr herzlich gedankt wird.



2. Allgemeines über Tunesien

Tunesien ist das kleinste Land der Maghreb-Staaten. Es liegt zwischen 32° und 37° nördlicher Breite und zwischen 8° und 11° östlicher Länge.

Die östlichen Ausläufer des Atlasgebirges durchziehen an Höhe abnehmend das Land in west-östlicher Richtung.

Im Norden liegen die höchsten Erhebungen über 1 200 m.

Zwischen Tell-Atlas und der Dorsalen ist das Land stark in Täler und Bergrücken gegliedert.

Die Dorsale reicht von der algerischen Grenze bis zum Cap Bon. Die höchste Erhebung ist der Djebel Chambi (nahe der algerischen Grenze) mit 1 544 m.

Südlich der Salzseen, Chott el Djerid und Chott el Rharsa, wird das Land flacher und geht in die Sandwüste über.

Die Fläche Tunesiens beträgt 12,5 Mill. Hektar, die sich folgendermaßen aufteilen:

Bergland, Sand- und Geröllwüste	3 500 000 ha
Absolutes Weideland	3 550 000 ha
Wald	960 000 ha
Kulturfähiges Land	3 800 000 ha
Baumpflanzungen (Öl und Obst)	906 000 ha

Nach KOCH (1959) sind 2 700 000 ha erosionsgefährdet. Davon gehen in jedem Jahr 10 000 ha infolge Bodenerosion durch Wind und Wasser verloren.

Das Land liegt an der Grenze zwischen feucht-gemäßigter und trocken-heiße Zone im Bereich des sommertrockenen-winter-feuchten Klimas.

Innerhalb dieses Klimas gibt es eine große Variationsbreite, sowohl in der trockenen Phase - die Periode kann kurz oder lang sein - als auch in der feuchten Zeit, in der die Niederschläge als Starkregen mit hoher Intensität oder andauernd mit gleichbleibender mittlerer Dichte fallen. Außerdem

können erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr vorkommen (BOULAINÉ 1960).

Daher sind die Mittelwerte mit Vorbehalt zu betrachten und stellen nur einen ungefähren Anhaltspunkt dar (DESPOIS 1964).

Die Niederschläge werden vornehmlich von Nord-West- und Nordwinden herbeigeführt. Zum Landesinnern, also in südlicher Richtung, nehmen die Regenmengen sehr schnell ab. In Ain Draham, 20 Kilometer von der Küste entfernt, im Nordwesten Tunesiens, fallen im Durchschnitt 1 575 mm Niederschlag, in Bêja, 50 Kilometer tiefer im Landinnern, noch 650 mm, während es im Süden Tunesiens weniger als 100 mm sind, die dazu noch unregelmäßig verteilt sind.

In Tunis betragen die Niederschläge im langjährigen Mittel 420 mm an 102 Regentagen (Station Tunis-Manoubia CLIMATOLOGIE 1952). In den Monaten November bis Februar fallen an 50 Regentagen 224 mm Regen.

Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 18,0°C, der wärmste Monat ist der August mit 26,4°C, der kälteste Monat ist der Januar mit 10,4°C.

Die Schwankungen sind erheblich. Es wurden für den Monat August ein Minimalwert von 11,0°C und ein Maximalwert von 47,0°C gemessen. Die entsprechenden Werte für den Monat Januar betragen -1,0°C und 25,0°C.

Die relative Luftfeuchtigkeit hat ihren höchsten Wert im Januar mit 70 - 80 %, im Juli und August ihren geringsten mit 60 - 70 %.

Die jährliche Evaporation erreicht 1 942,1 mm.

Die Niederschlagsmengen können in den einzelnen Jahren sehr unterschiedlich sein. Einige Werte sollen die Schwankungen verdeutlichen, die zwischen verschiedenen Orten und den Jahren auftreten können:

Téboursouk ⁺⁾	Ø 523 mm	1948	699 mm	1950	291 mm
Kairouan ⁺⁾	Ø 286 mm	1948	482 mm	1950	111 mm
Sfax ⁺⁾	Ø 197 mm	1948	430 mm	1946	37 mm

In Sousse fielen 150 mm in wenigen Stunden, $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ der durchschnittlichen Regenmenge in weniger als 10 Tagen.

In Béja fiel 36 % des Niederschlags in 10 Tagen, in Kairouan sogar 37 % in nur 5 Tagen (RAYMOND 1961).

Angaben über die Häufigkeit und Intensität von Starkregen liegen nicht vor. Wenn keine solchen Messungen durchgeführt werden, sind die auftretenden Gewitter ein ungefährer Anhaltspunkt für mögliche Schadensregen (WEINMANN 1964).

Der gewitterreichste Monat in Tunis ist der Oktober mit durchschnittlich 20 Gewittern. Es folgen August und September mit je 13, der Mai mit 12 Gewittern und der Juni mit 10. Gerade die Gewitter im Juni und August können erhebliche Schäden hervorrufen, da zu diesem Zeitpunkt das Pflanzenwachstum bereits zum Erliegen gekommen ist bzw. noch nicht wieder eingesetzt hat.

Die Niederschlagsverteilung im Laufe des Jahres und die Abnahme der Niederschlagsmenge zum Landesinnern hin kennzeichnen die Wirtschaftsweise der tunesischen Landwirtschaft. Die Niederschlagsgrenze für den jährlichen Getreideanbau liegt bei 400 mm Niederschlag. Diese Regenmenge fällt aber nur in den Gebieten nördlich des Medjerda-Tales. Südlich davon muß Brache in die Fruchtfolge eingeschaltet werden, damit der Boden genügend Wasser für den folgenden Getreideanbau speichern kann.

Die Brache ist aber nicht offen, sondern dient mit den aufgegangeenen Unkräutern als Weidefläche. Infolgedessen ist eine größere Wasserspeicherung in Frage gestellt und das

⁺⁾ Siehe Übersichtskarte von Tunesien Karte 1 aus KOCH Tunesien (1959).

Wachstum des nachfolgenden Getreides benachteiligt.

In der Hauptsache werden Hartweizen und Gerste angebaut. Im Norden des Landes und auf Cap Bon befinden sich ausgedehnte Gemüse-, Baum- und Weinkulturen. Als Baumkulturen sind in erster Linie Orangen, Zitronen und verschiedene Obstsorten, besonders Pfirsiche zu nennen. Oliven nehmen nur noch geringe Flächen ein. Das Hauptanbaugebiet für Oliven liegt um Sousse und Sfax. Hier bilden die Olivenhaine einen Gürtel von ca. 70 km um die Stadt.

In jüngerer Zeit werden weitere Neuanpflanzungen im Süden vorgenommen, damit im Norden mehr Flächen für Citrusfrüchte frei werden.

Ob dem Olivenanbau im Süden des Landes ein Erfolg beschieden sein wird, ist bei den geringen und unregelmäßigen Niederschlägen, einem Zeitraum von 15 Jahren bis zur ersten Ernte und der ungünstigen Situation auf dem Weltmarkt für Olivenöl sehr zweifelhaft.

2.1 Klima und Ackerbau in geschichtlicher Zeit

Für die Beurteilung der Bodenbildung und der Vegetation in Nordafrika wird immer wieder die Frage nach dem Klima in früherer Zeit gestellt. Wie war das Klima? Hat es sich geändert? Wann hat es sich geändert? Warum hat es sich geändert?

Es wird angenommen (CORNEVIN 1966), daß nach 3 großen Pluvialzeiten, die ungefähr mit den Eiszeiten in Europa zusammenfallen, eine kurze kühlere und trocknere Periode folgte. Im Anschluß daran trat zwischen 8000 und 6000 v. Chr. eine neue Feuchtperiode ein, die genügend Niederschläge brachte, um in der Sahara eine Steppenvegetation hervorzubringen. Um 6000 v. Chr. wird das Klima allmählich arider. Die Aridität nahm ab 2500 v. Chr. schneller zu, bis die Landschaft

im großen und ganzen dem heutigen Bild entsprach (BUTZER 1958).

Die Sahara-Grenze lag auch im Altertum nicht weiter südlich als heute, was ziemlich übereinstimmend aus lateinischen Quellen hervorgeht (LEITNER 1909).

Der große Reichtum Nordafrikas im Altertum war vor allem in der höheren Intensität des Ackerbaus gegenüber den heutigen Verhältnissen begründet.

Der Beginn des Ackerbaus wird für das 2. Jahrhundert v. Chr. angenommen. Bis dahin lag der Schwerpunkt beim Jagen und Sammeln (JULIEN 1961).

Die Karthager besaßen ausgedehnte Baumkulturen, Wein und Gemüse, vor allem auf Cap Bon und um die Städte, während die Eingeborenen den Getreidebau, in der Hauptsache Weizen und Gerste, in günstigen Lagen betrieben (GSELL 1920).

Die Römer veranlaßten die Ausdehnung des Getreidebaus, besonders von Weizen, da $\frac{3}{4}$ des gesamten Bedarfs von Rom aus nordafrikanischen Gebieten gedeckt werden mußte. Zeitweise war die Neuanpflanzung von Wein bei Strafe verboten (JULIEN 1961).

Über die Ernteergebnisse bei Getreide liegen Angaben vor, die aber stark übertrieben erscheinen (GSELL 1920)

Die Erträge bei Oliven werden mit 70 Liter je ha angegeben. Heute rechnet man in der Gegend von Sfax mit 90 l/ha.

Die Weinreben wurden besonders in Nordlagen gepflanzt, da sonst die Strahlung zu intensiv war. Man setzte die Pflanzen in 30 - 40 cm tiefe Gräben, die nach 3 - 4 Jahren zugeschlämmt waren (GSELL 1920).

Die Wüstenoasen wurden sehr intensiv bewirtschaftet und 4 - 5 Kulturen übereinander gehalten. PLINIUS schreibt dazu: "Im Schatten der Palmen wachsen Oliven, unter den Oliven Feigen, dann Granatäpfel und Wein. Der Wein schützt Getreide und Leguminosen und alles gedeiht im gleichen Jahr, alles wächst unter schützendem Schatten."

Ein Grund für die relativ hohen Erträge mag darin bestehen,

daß die Niederschläge sehr viel besser als heute genutzt wurden. Selbst kleinste Bäche wurden gestaut und in riesigen Zisternen ein Wasservorrat, für die ausgedehnten Bewässerungsanlagen gesammelt (BOISSIERE 1878).

Die Eroberung durch die Araber im 7. Jahrhundert n. Chr. brachte eine völlige Änderung der bestehenden Landeskultur und der Anbaumethoden. Da die Araber Nomaden waren und Weideplätze für ihre Herden brauchten, wurden Olivenhaine und Obstanlagen in Weiden umgewandelt. Die Bewässerungsanlagen verfielen im Laufe der Zeit.

Die Beni Hillal kamen mit 200 000 Menschen und man schätzt, daß ungefähr 10 Millionen Menschen bei der Eroberung umkamen (KOCH 1959).

Wenn man die riesigen Amphitheater betrachtet und die heutigen Ansiedlungen in ihrer Nähe sieht, z. B. in El Djem, kann angenommen werden, daß die Besiedlung viel dichter als heute gewesen sein muß.

Nach JULIEN (1961) ist vor allem die Entwaldung, die unzumutbare Ausdehnung der Ackerflächen und die vermehrte Viehhaltung die Ursache für die Zerstörung des nordafrikanischen Bodens.

Die Entwaldung ist teils durch die Rodung von Wäldern in Hanglagen zwecks Gewinnung von Ackerflächen erfolgt, andererseits durch den Holzeinschlag für Schiffsbauten und den hohen Bedarf an Brennmaterial. Allerdings bestand auch im Altertum nur auf den Nordhängen Wald, während die Südhänge auch zu damaliger Zeit nicht genügend feucht waren. Die Entwaldung muß schon zu Cäsars Zeit so weit fortgeschritten gewesen sein, daß Holzknappeit herrschte, denn er ließ Holz von Sizilien kommen, um bei seinem Afrika-Feldzug 46 v. Chr. Belagerungsmaschinen bauen zu können (LEITNER 1909).

Die Ausdehnung der Ackerflächen auf Hanglagen war einerseits eine Notwendigkeit für die Eingeborenen, denen die besseren

Tallagen weggenommen worden waren. Da andererseits durch das Verteilungssystem in Rom laufend höhere Getreidemengen benötigt wurden, mußten die Abgaben steigen. Diese größeren Mengen ließen sich nur auf zusätzlich bestellten Flächen erzeugen.

Die Entwicklung der Viehhaltung, d. h. eine Erhöhung der Kopfzahl der Herden ist verständlich, weil eine große Anzahl Tiere ein höheres Sozialprestige bedeutete, wie das auch heute noch in vielen Ländern der Fall ist. Es mußten also zusätzliche Weideflächen gesucht werden; sie wurden in Form von Waldweiden gefunden. Da aber fast immer zu viele Tiere pro Flächeneinheit gehalten wurden, ergab sich eine Überweidung der Flächen. Der Austrieb der geschädigten Bäume und Sträucher konnte mit dem dauernden Verbiß nicht Schritt halten und es erfolgte ein stetiger Rückgang der Deckschicht. Somit wurden immer neue Ansatzstellen für die zerstörende Wirkung der Niederschläge geschaffen.

Die Vegetation erneuert sich in diesem Klima nur sehr schwer, wenn sie der Mensch einmal zerstört hat (RAYMOND 1961, JUNG 1965).

3. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Der Medjerda, im Altertum Bagradas genannt, ist der einzige Fluß Tunesiens, der das ganze Jahr hindurch Wasser führt. Er entspringt bei Khamissa in Algerien und hat eine Gesamtlänge von 450 Kilometern. Er fließt 370 km durch Tunesien. Diese lange Strecke ergibt sich durch die große Anzahl der Mäander, denn in der Luftlinie beträgt die Entfernung von der algerischen Grenze bis zur Mündung nur knapp 200 km (RAYMOND 1961).

Mit dem Eintritt des Flusses nach Tunesien öffnet sich ein weites Tal, das früher die Kornkammer Roms war.

Die beiden bedeutendsten Nebenflüsse sind Mellègue und Siliana, die beide von Süden her einmünden.

Die Ebene des Medjerda war ein geschlossenes Becken, das am Ende des Tertiärs und zu Beginn des Quartärs aufgefüllt und sich nach Auffüllung zum Mittelmeer öffnete und entwässerte (SOLIGNAC 1927).

Die frühe ackerbauliche Nutzung des Gebietes brachte schon zur Römerzeit eine Ausdehnung der Anbaufläche auf die Hänge und damit die Rodung der vorhandenen Baum- und Strauchvegetation. Die Folge war die Auslösung der Bodenerosion in großem Umfang.

Große Mengen an abgeschwemmtem Material, die am Unterlauf sedimentierten, führten dazu, daß der Fluß sein Delta seit der Römerzeit um 300 qkm erweitern konnte. Die antike Hafenstadt Utica liegt heute 13 km im Landinnern und hat keine Verbindung mehr zum Mittelmeer (KOCH 1959).

Heute umfaßt das Medjerda-Delta 75 000 ha. Dieses Mündungsgebiet wird aber landwirtschaftlich nicht genutzt (BERNARD 1937).

Die Abflußmenge des Medjerda beträgt in der winterlichen Regenzeit $925 \text{ m}^3/\text{sec.}$ und fällt auf $1 \text{ m}^3/\text{sec.}$ bei Niedrigwasser in den Monaten Juli und August. Die durchschnittliche Menge beträgt $29 \text{ m}^3/\text{sec.}$ Im Februar werden $91,7 \text{ m}^3/\text{sec.}$

und im Juli $3,2 \text{ m}^3/\text{sec.}$, bei mittlerem Hochwasser $2500 \text{ m}^3/\text{sec.}$ gemessen. Als Maximum gelten $13\,000 \text{ m}^3/\text{sec.}$, wenn das gesamte Gelände von Tebourba bis zur Mündung überschwemmt ist (BERNARD 1937).

Die Werte wurden in Tebourba festgestellt.

Der ungenutzte Abfluß der Wassermengen in den Frühjahrsmonaten soll durch ein Stauwerk am Mellègue, das schon fertiggestellt wurde, und mehreren am Medjerda, wovon eines bereits in Betrieb ist, verhindert werden.

Die starke Sedimentführung gefährdet die Stauwerke, andererseits entzieht die hohe Verdunstungsrate in den Sommermonaten den Barragen mehr Wasser als zufließt.

Das Office de la Mise en Valeur de la Vallée de la Medjerda (OMVVM) ist für die Erschließung und Verbesserung der landwirtschaftlichen Struktur in diesem Gebiet zuständig. Es hat einen Plan entwickelt, nach dem am Unterlauf des Medjerda eine Fläche von $70\,000 \text{ ha}$ bewässert werden soll, um Gemüse anbauen zu können; heute sind es ungefähr $10\,000 \text{ ha}$. Eine Umstellung von Getreide und Oliven auf Obst- und Gemüsekulturen erscheint notwendig, da der Export von hochwertigen landwirtschaftlichen Produkten für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung Tunesiens von größter Bedeutung ist.

Das OMVVM erstellt und überwacht die Anbaupläne im gesamten Gebiet und übernimmt die Produkte zur gemeinschaftlichen Vermarktung.

Zu den weiteren Aufgaben zählt ein beachtliches Aufforstungsprogramm von $70\,000 \text{ ha}$ in den Randgebieten.

Die Bedeutung des Vorhabens wird klar, wenn man einen Wasserdurchfluß von 900 Millionen Kubikmeter jährlich zugrunde legt, mit dem 14 Millionen Kubikmeter Feinsedimente transportiert werden. Umgerechnet auf das Einzugsgebiet ergibt das einen Bodenabtrag von 7 mm in 10 Jahren (MENSCHING 1968).

Der Boden ist besonders zu Beginn der einsetzenden Regen gefährdet, wenn er nach der Sommertrockenheit völlig ausgetrocknet ist und kaum durch Vegetation bedeckt wird. Zu diesem Zeitpunkt ist der Boden schutzlos dem Aufprall der Regentropfen preisgegeben; er verliert seinen Zusammenhalt, wird zerstört und abgeschwemmt.

3.1 Klima des Untersuchungsgebietes

Für das Untersuchungsgebiet werden die Werte von Medjez el Bab benutzt.

BERNARD (1937) schreibt zwar: "Die Vegetation und die Tiere, die Landwirtschaft und Tierzucht leben nicht von den Mittelwerten, sondern von den Realitäten." Aber die Mittelwerte geben einen Anhalt, mit welchen Regenmengen langfristig gerechnet werden kann, obwohl die starken Abweichungen der Einzelwerte immer einkalkuliert werden müssen.

Medjez el Bab: 66 m ü. NN 36° 39' N
9° 37' O

	Regen- tage	Regen- menge in mm	Durchschnitts- temperatur in °C	Durchschnittl. Temperaturmin. in °C je Tag
Jan.	12	63	9,5	5,0
Febr.	10	50	10,5	5,5
März	8	45	12,9	6,9
April	8	35	15,9	9,2
Mai	5	26	19,7	12,8
Juni	4	14	25,3	17,0
Juli	1	4	26,9	18,8
Aug.	2	7	26,6	19,1
Sept.	5	31	24,4	18,3
Okt.	6	37	19,9	14,1
Nov.	8	40	14,6	9,7
Dez.	10	56	10,8	6,4

	Absolut tiefste Tagestemperatur in °C	Durchschnittl. Temperaturmax. in °C je Tag	Absolut höchste Tagestemperatur in °C
Jan.	- 2,0	14,0	28,4
Febr.	- 3,8	15,6	29,0
März	- 3,0	18,9	34,4
April	1,0	22,5	38,0
Mai	2,2	26,5	43,0
Juni	8,8	33,5	45,0
Juli	12,0	34,9	49,0
Aug.	10,0	34,1	48,0
Sept.	8,0	30,5	47,0
Okt.	5,0	25,6	39,0
Nov.	0,0	19,5	32,0
Dez.	- 3,0	15,2	24,2

Die Durchschnittstemperatur liegt bei 18,0 °C, die mittlere Januartemperatur beträgt 9,5 °C mit einer Schwankung von minimal - 2,0 °C und maximal 28,4 °C. Der heißeste Monat ist der Juli mit durchschnittlich 26,9 °C. Die Temperatur kann maximal 49,0 °C und minimal 12,0 °C erreichen.

Die Hälfte des Jahresniederschlages fällt in den Monaten November bis Februar, während es in den Sommermonaten Juni bis August nur durchschnittlich 25 mm sind.

Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt im Januar 70 - 80 %, im Juli 50-60 %, kann aber auf 30 % und darunter absinken, wenn der Sirocco, ein heißer Saharawind weht (AGAFONOFF 1936).

Die großen Unterschiede zwischen Tag- und Nachttemperaturen bedingen eine ziemlich starke Taubildung (TAUBERT 1967).

3.2 Geologischer Überblick des Untersuchungsgebietes

Im Bereich des Untersuchungsgebietes befinden sich Ablagerungen folgender geologischer Epochen:

Trias, Kreide, Eozän, Oligozän, Miopliozän, alteres und jüngeres Holozän (CASTANY 1952, CASTANY 1951, SAVORNIN 1931, SOLIGNAC 1927).

Die beigegefügte Karte Nr. 2 ist eine Ausschnittsvergrößerung der Geologischen Karte von G. CASTANY, Carte géologique de la Tunisie au 1/500 000 1951.

Die Ablagerungen der Trias enthalten gipshaltiges Material, Mergel und kalkhaltige Sandsteine, die mit anderen Sedimenten vergesellschaftet sind.

Triasablagerungen findet man südlich des Medjerda-Tales im Hügelland zwischen Medjez el Bab und der Ebene von Goubellat, wo sie die Kreideablagerungen durchstoßen und an die Oberfläche treten; weiterhin nördlich des Medjerda-Tales, wo sie mit dem unteren Eozän vergesellschaftet sind.

Die Kreide hinterließ kalkhaltige Sedimente, die sich in ihrer Konsistenz, Farbe und dem Gehalt an Karbonaten unterscheiden.

So trifft man Mergel, Kalkmergel, Graue Mergel, Graublaue Mergel, geschieferte Mergel u.a.m.

Die Kalke kommen als Kalkstein und Kalksandstein vor.

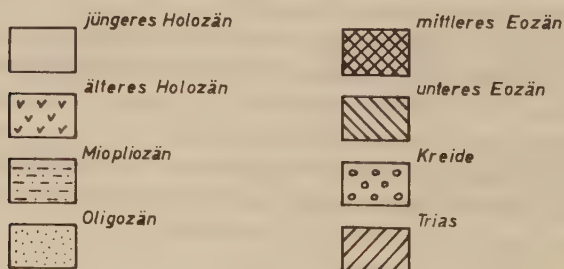
Die Kreideablagerungen sind sowohl in der Vielfalt der Formen, als auch in der Ausdehnung das wichtigste bodenbildende Ausgangsgestein im Untersuchungsgebiet.

Das Hauptvorkommen der Kreideablagerungen liegt nördlich und südlich des Medjerda-Tales auf der Höhe von Medjez el Bab und nördlich des Tales bei Tebourba.

Die Ablagerungen des Eozän, Oligozän und Miopliozän treten als mehr oder weniger kalkhaltige Sandsteine, als Kalkstein

Geologische Karte

Karte 2



0 10 20 km

und als Mergel auf.

Unteres Eozän kommt nördlich des Medjerda-Tales vor (Mergel und Kalksandstein), wo es mit Kreide am Aufbau der Bergketten beteiligt ist, und südlich des Tales nur auf kleineren Flächen (Kalkstein).

Mittleres Eozän (Kalksandstein) bildet mit Oligozän (Mergel und Kalksandstein) das Hügelland südlich des Medjerda-Tales im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes.

Miopliozän (Kalksandstein) wurde westlich und südwestlich von Medjez el Bab zu beiden Seiten des Medjerda-Tales gefunden. Die größte Ausdehnung liegt südlich von Tebourba, weitere Vorkommen wurden westlich von Chaouach und nördlich von Toukabeur festgestellt.

Im älteren Holozän kam es zur Auffüllung kleinerer ehemaliger Becken am Talrand des Medjerda mit Flußsedimenten (Lehm) und in sich geschlossener Becken, z. B. des Beckens von Goubellat mit Erosionsmaterial der umgebenden Hügel (Lehm und Ton).

Das jüngere Holozän kennzeichnet die Ebene des Medjerda ab Medjez el Bab und das Gebiet, das auch heute noch der Überflutung unterliegt (sandig-lehmiges Material).

3.3 Topographie des Untersuchungsgebietes

Die nordwestlichen Randgebiete des Medjerda-Tales werden durch Bergketten, die über 600 m erreichen (Djebel el Ang 668 m), gebildet.

Hier herrschen steile Abstürze und Kämme vor, die durch die Härte des Gesteins (fester Kalk) hervorgerufen werden.

In diesem stark gegliederten Gelände sind schwächer geneigte Flächen (10 - 15 % Gefälle) eingestreut, die noch ackerbaulich genutzt werden, jedoch stark durch Überschüttungen gefährdet sind.

Flachwelliges Gelände, das von einigen Kuppen überragt wird, begrenzt das Tal im südlichen und südöstlichen Teil. Auch diese Landschaftsform wird durch die Härte des Gesteins verursacht. Mergel und weichere Kalke stehen in der Hauptsache im Untergrund an. Der festere Kern bleibt als Erhebung zurück, während die Lockermassen ausgeräumt worden sind. Das Gefälle geht in der Regel über 10 % nicht hinaus. Nur in wenigen Fällen, wenn das Gestein wechselt, werden auch hier steilere Ausbildungen beobachtet. So ist der Djebel el Mourhra mit 435 m die höchste Erhebung im südlichen Teil.

Im Norden wird das Gebiet vom Djebel Maiana (186 m), einem sogenannten Dôme (SOLIGNAC 1927), abgeschlossen. Es handelt sich um einen Kegel aus festem Kalk, dessen Hänge im oberen Teil 25 - 30 % Gefälle haben, das nach der Ebene zu allmählich in geringere Neigungen übergeht.

Im Nordosten beginnt die Aufschüttungsebene des Medjerda.

Durch die vorherrschende physikalische Verwitterung kommt es zur Bildung größerer Schuttfächer und zur Ausbildung von Hohlhängen durch Erosionsvorgänge. Infolgedessen wird die Topographie auch in nicht geringem Maße durch Verwitterungsvorgänge in Verbindung mit Materialtransport durch Tagwässer nach Starkregen beeinflusst.

4. Untersuchungsmethoden

1. Die Bodenfarbe wurde am feuchten Feinboden (< 2 mm) nach MUNSELL bestimmt.

R = rot, Y = gelb, YR gelbbrot (MUNSELL 1954).

2. pH-Wert.

Der pH-Wert wurde in H_2O und in 1 n KCl im Verhältnis 1 : 2,5, d.h. 10 g Feinboden und 25 ccm H_2O bzw. KCl, mit der Einstabmeskette ermittelt.

3. Organische Substanz.

Zur Bestimmung der organischen Substanz diente das Verfahren von RAUTERBERG und SANDHOFF (RAUTERBERG und SANDHOFF 1951).

1 g Feinboden (< 1 mm) wird mit 10 ml 2 n $K_2Cr_2O_7$ mit H_2SO_4 und mit 20 ml konz. H_2SO_4 versetzt. Nach 15 Minuten werden 170 ml H_2O hinzugefügt und über Nacht stehen gelassen.

Von einem Boden mit bekanntem Humusgehalt werden auf die gleiche Weise Standards hergestellt und mit dem Kolorimeter gemessen.

Die gefundenen Werte werden nach der Tabelle von FIEDLER und REISSIG eingestuft (FIEDLER und REISSIG 1964).

Humusarm	< 2 %	Für lehmige
Schwach humos	2 - 5 %	und tonige
Humos	5 - 10 %	Böden.
Stark humos	10 - 15 %	
Sehr stark humos	15 - 20 %	

Böden mit einem höheren Humusgehalt als 30 % werden als Moorböden bezeichnet, sofern die humushaltige Schicht mehr als 20 cm mächtig ist.

4. Die Bestimmung des Gehaltes an Carbonaten erfolgte gasvolumetrisch nach SCHEIBLER (SCHEIBLER 1951).
5. Schlämmanalyse mittels Pipettverfahren nach KÖHN (KÖHN 1928). Die Dispergierung des Bodens erfolgte mit Calgon (JUNG/ROHMER 1966).
Der Gehalt an Grob-, Mittel- und Feinsand wurde durch Naßsiebung ermittelt (THUN/HERRMANN/KNICKMANN 1955).
Zur Bestimmung der Bodenart diente das Bodendiagramm der Geologischen Landesämter (KOHL 1966).

Grob- und Mittelsand	2,0 - 0,2	mm
Feinsand	0,2 - 0,06	mm
Schluff	0,06 - 0,002	mm
Ton	< 0,002	mm

6. Austauschkapazitätsbestimmung nach MEHLICH. (MEHLICH 1948). Zur Bestimmung der austauschbaren Kationen wurde auf <1 mm gesiebter Boden verwendet und nach MEHLICH mit BaCl_2 und Triäthanolamin behandelt.
7. P_2O_5 und K_2O - Bestimmung.
Ammoniumlaktatessigsäure - Methode nach RIEHM (RIEHM 1959) zur Bestimmung der pflanzenverfügbaren Phosphorsäure.
8. Bestimmung der kapillaren Wasseraufstiegsgeschwindigkeit nach ENSLIN (ENSLIN 1933).
Feinboden (<2 mm) wird in ein 10 cm hohes Rohr gefüllt. An einer seitlich angebrachten Kapillare wird die Wassermenge abgelesen, die benötigt wird, um bis zur Oberfläche des Bodens im senkrechten Rohr emporzusteigen. Die Zeit wird mit einer Stoppuhr gemessen.
9. Bestimmung der Tonminerale.
Zur Gewinnung des Tons wurden 50 g Boden mit Calgon

dispergiert und im Schlammzylinder 7 Stunden und 43 Minuten stehen gelassen. Danach wurde die Suspension bis in 10 cm Tiefe abgesaugt und der Ton mit CaCl_2 gefällt. Dabei wird der Ton mit Ca^{2+} gesättigt. Das Cl^- wird anschließend ausgewaschen (TRIBUTH 1967).

Zur Herstellung der Präparate für die Röntgenaufnahme wird 100 mg Ton mit H_2O versetzt und die Suspension mit Ultra-Schall behandelt. Danach werden 0,5 ml auf Keramikplättchen aufgesaugt und getrocknet. Um die aufweitbaren Minerale zu erfassen, wird eine Probe zusätzlich mit 5 Tropfen Glyzerin behandelt und ebenfalls getrocknet.

Die Präparate wurden mit dem Röntgengerät Müller "Mikro III" geröntgt und die Impulse mit dem Philips-Goniometer und automatischer Registrierung aufgenommen.

Die Auswertung erfolgte nach PARRISH/MACK 1963.

5. Die Böden des Untersuchungsgebietes

5.1 Die Bodenbildung im Untersuchungsgebiet

Die Böden einer Landschaft stehen in Wechselbeziehung mit den am Standort wirkenden Umweltfaktoren. Die Bodenentwicklung kann durch die Änderung der bodenbildenden Kräfte verstärkt, verlangsamt oder in eine andere Richtung gelenkt werden, wenn eine der Komponenten verändert wird.

Menschliche Eingriffe in das herrschende Gleichgewicht der Faktoren können zu einer Umwandlung ganzer Landstriche führen, wie das viele Gebiete in den Mittelmeerländern zeigen.

Wie aus den Klimadaten für das Untersuchungsgebiet hervorgeht, sind nur geringe Niederschlagsmengen zu erwarten. Sie betragen 400 - 420 mm. Sie sind nicht über das Jahr verteilt, sondern fallen während des Winters, also in einer Zeit mit niedrigeren Temperaturen. Die chemischen Reaktionen, die zur Bodenbildung führen, verlaufen daher sehr viel langsamer als z. B. im gemäßigten Klimabereich. Zu diesem Klima "mit im allgemeinen geringer bodenbildender Kraft" (GANSSEN 1968) kommt das Ausgangsgestein als Faktor hinzu, das ausschließlich aus kalkhaltigen Sedimenten in Form von festen Kalken, Kalksandsteinen oder Mergeln vorliegt. Infolge unterschiedlicher Härte ist die Verwitterung bei den weicheren Mergeln weiter fortgeschritten als bei den festen Kalken, die der Verwitterung stärkeren Widerstand entgegensetzen.

Die periodische Durchfeuchtung in den Wintermonaten bedingt eine geringe Entkarbonatisierung des Oberbodens, indem das CaCO_3 als $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ eine kurze Strecke vertikal im Boden wandern kann, um dann als CaCO_3 wieder ausgefällt zu werden. Durch seitliche Stoffverlagerung unbeeinflusste Profile zeigen daher vom A_h -Horizont bis in den C-Horizont eine Zunahme des CaCO_3 -Gehaltes.

Die zeitweilige Durchfeuchtung kann außerdem eine Tonmineral-

bildung durch Umwandlung der silikatischen Anteile des Muttergesteins bewirken. Häufig ist das bodenbildende Substrat aber mit alten Verwitterungsresten vergangener anderer KlimaePOCHen vermischt, in denen bestimmte Tonmineraltypen (Koalinit) vorherrschen, die dem heutigen Klimaablauf nicht entsprechen.

Auf großen Flächen des Untersuchungsgebietes wird aber die Ausbildung des Klimaxbodentypes nicht erreicht, da durch Abspülung, Übersandung und Anschüttung die Entwicklung des Profils immer wieder gestört wird. So führen Sedimentationen in diesem Gebiet zu azonalen Stadien der Bodenbildung, während der Bodenabtrag an den Hängen die Profile köpft und das junge Verwitterungsmaterial wegführt. Dadurch wird von freigelegten carbonathaltigen Horizonten CaCO_3 auf den Unterhangflächen aufgelagert und Ca-haltiges Hangwasser den Böden am Unterhang zugeführt. Eine weitere CaCO_3 -Anreicherung ist in den Talauen durch Überflutung mit Ca-haltigem Wasser und Ablagerung von Schweb möglich, der im wesentlichen Kalktrümmer enthält.

Diese Vorgänge könnten weitgehend durch eine gute Vegetationsdecke verhindert werden. Im Untersuchungsgebiet aber ist der Pflanzenwuchs auf Grund der geringen Niederschläge spärlich. Mit den Winterregen im September/Oktobre setzt praktisch erst der Pflanzenwuchs ein. Die Pflanzen können sich aber bei den niedrigen Temperaturen im Dezember und Januar nur langsam weiterentwickeln. Erst wenn im April die Temperaturen wieder ansteigen, geht das Wachstum schneller voran. Es kommt aber bereits Mitte bis Ende Mai auf den flachgründigen Böden durch Absinken der Bodenfeuchte bis unter den Welkepunkt wieder zum Erliegen. Es fällt infolgedessen nur wenig organische Substanz an. Diese wird darüber hinaus sehr schnell mineralisiert, so daß die Böden nur einen geringen Humuswert aufweisen (1,2 - 3 %), von einzelnen Ausnahmen abgesehen.

Daraus geht hervor, daß die Böden wenig Schutz durch Vegetation haben und daß ihre Struktur nicht sehr stabil ist.

Sie neigen daher stark zur Verlagerung bei Starkregen.

Die geschilderten Bodenbildungsbedingungen lassen erkennen, daß im Untersuchungsgebiet meist junge Böden anzutreffen sind, die durch die episodischen Starkregen immer wieder in ihrer Entwicklung zurückgeworfen werden und an denen die ständige Einwirkung der Erosionsfaktoren klar in Erscheinung tritt.

GANSEN (zit. bei DESPOIS 1961) schreibt dazu folgendes: "Das Klima und die magere Vegetation der Mittelmeerländer ist günstig für die Verwitterung der Felsen, aber wenig günstig für die chemische Zersetzung und die Bildung tiefgründiger Böden. Hinzu kommt die Jugend des Reliefs und die Erosion der Böden, deren Bildung langsam ist, so daß sie nur ausnahmsweise die Reife erreichen. Daher die große Ausdehnung von nacktem Fels und Mineralböden, roh und skelettreich, und im allgemeinen Böden, die wenig entwickelt sind und sehr nahe dem Ausgangsgestein sind, aus dem sie stammen."

Auf Grund der geschilderten Beobachtungen werden zunächst 6 für das Medjerdagebiet charakteristische Böden beschrieben, die sich nach Farbe, Ausgangsgestein, Lage und Profilaufbau unterscheiden.

Auf den festen Kalken haben sich Rendzinen mit verschiedenen Farbtonungen und Entwicklungsstufen herausgebildet. Diese Farbtonungen sind teils auf Verbraunung der silikatischen Anteile des Muttergesteins zurückzuführen, andererseits sind Einwaschungen von rotem fossilem Bodenmaterial wahrscheinlich.

Die A-Horizonte dieser Rendzinen sind geringmächtig (0 - 12 cm). Darunter folgt der feste Kalkstein oder bereits aufgelockerter Kalkstein.

Tiefgründiger, aber auch toniger in der Textur sind die Böden, die sich auf den Mergeln entwickelt haben. Es handelt

sich um graubraune bis schwarze Böden, die jedoch keine hohen Humuswerte aufweisen (1 - 2 %). Bedingt durch die leichtere Verwitterbarkeit des Ausgangsmaterials ist der Kalkgehalt niedriger als bei den Rendzinen auf festem Kalkstein, Infolge ihres hohen Schluff- und Tonanteils und der geringen Humusmenge ist ihre Struktur polyedrisch bis prismatisch und wird in feuchtem Zustand plastisch. Ihre Eigenschaften lassen eine enge Verwandtschaft zu den Vertisolen erkennen.

Umgelagerte Terra rossa findet sich nur an den Unterhängen und Senken, teilweise vermischt mit braunem Material der umgebenden Hänge, teilweise von diesem überdeckt. Auf Grund des kalkhaltigen Zuschußwassers sind diese Böden sekundär mit Kalk angereichert. Häufig kommt es zur Ausbildung von Kalkkrusten in wechselnder Tiefe und unterschiedlicher Stärke und Festigkeit. Trotz hoher Schluff- und Tongehalte und Humuswerten zwischen 2 und 3 % liegen die Böden in lockerer Form vor und neigen nicht zur Verdichtung.

Als nächstes ist der Braune humusarme Karbonatboden zu nennen. Bedingt durch eine spärliche natürliche Vegetation und fehlende Humuswirtschaft kommt es in diesem Boden nicht zu einer nennenswerten Humusanreicherung. Die Böden sind steinfrei und haben einen Karbonatgehalt von ca. 25 %. Eine Profildifferenzierung ist nicht möglich, jedoch ist ein leichtes Ansteigen des Tongehaltes mit zunehmender Tiefe festzustellen. In einer durchschnittlichen Tiefe von 50 cm kommt es zur Ausfällung von Calciumkarbonat.

Die Aueböden des Medjerda sind durch einzelne Aufschüttungsschichten gekennzeichnet. Da sie auch bis in größere Tiefe noch organische Substanz aufweisen, kann angenommen werden, daß bereits früher humushaltiges Material angeschwemmt wurde. Sie sind vollkommen stein- und kiesfrei und neigen zur Verdichtung, was besonders in den flußferneren Lagen der Fall ist.

Eine Beeinflussung durch Grundwasser ist nicht gegeben, da es auch in den Wintermonaten zu tief (4 - 5 m) unter Flur steht. Mit einer periodischen Überflutung ist nicht mehr zu rechnen, doch ist in einzelnen Fällen eine Überschwemmung möglich.

5.2 Tonverlagerung und Tonmineralgehalt der Böden

Eine Tonverlagerung mit einer markanten Ausbildung eines B_t-Horizontes konnte nicht festgestellt werden, doch zeigen sich bei den tiefgründigen Böden mit steigender Tiefe höhere Gehalte an Ton, da die tieferen Bodenschichten länger feucht bleiben und einer Tonbildung förderlich sind.

Nach BOULAINÉ (1966) beginnt die Tonverlagerung erst bei mehr als 500 mm Jahresniederschlag und mittleren Jahrestemperaturen über 16°C. Diese Niederschlagsmengen werden im Untersuchungsgebiet jedoch nicht erreicht.

Das bei weitem am häufigsten gefundene Tonmineral ist Kaolinit. Es dominiert in allen Böden aus Kalkstein und in den Böden der ebenen Lagen.

Da unter den heutigen Klimaverhältnissen eine Auswaschung der Kieselsäure auf Grund der geringen Feuchte nicht möglich ist, muß der Kaolinit in früheren, warm-humiden Perioden entstanden sein. COINTEPAS (1966) vertritt die Ansicht, daß der Kaolinit bereits im Ausgangsgestein vorhanden war und nur Illit im Boden gebildet wird.

In den Mergelböden (Vertisole) wurde Montmorillonit als vorherrschendes Tonmineral festgestellt, da noch genügend Silikate neben den Carbonaten für die Bildung der Tonminerale vorhanden sind. Damit zeigen diese Böden ein wesentliches Merkmal der Vertisole. Es kommt ferner in geringeren Mengen Kaolinit vor, während Illit fehlt.

Folgt man der Ansicht von COINTEPAS (1966), dann kommt es

unter dem heutigen Klima in diesem Boden überhaupt nicht mehr zu einer nennenswerten Tonneubildung, sondern die gefundenen Tonminerale entstammen entweder dem Ausgangsgestein oder sie sind in einer früheren Epoche gebildet worden. Das Vorherrschen von Kaolinit kommt auch in der Austauschkapazität zum Ausdruck, die selbst bei hohen Tongehalten relativ gering ist. Der Austauschkapazitätswert des Mineralbodens wird aber häufig durch den höheren Wert der Humusanteile überdeckt.

5.3 Das Verhalten der Böden gegen Bodenerosion auf Grund ihrer Kornzusammensetzung

Bei den untersuchten Böden war eine große Variationsbreite in der kapillaren Wasseraufstiegsgeschwindigkeit festzustellen, die von 12 Minuten für einen Wasseraufstieg von 8,6 ml bis zu 3 Stunden 30 Minuten und 9,0 ml reichte. Das entspricht einer Wasserbewegung von 0,72 ml bzw. 0,04 ml pro Minute. Der Tongehalt dieser Proben betrug 26,2 % bzw. 49,4 %.

Nach der Wasseraufnahme (Zeit und Menge) kann man das Verhalten der Böden gegenüber der Bodenerosion folgendermaßen beurteilen:

Bei den sehr tonreichen, schwach humosen Böden (P III) ist die Wasseraufnahme erschwert. Dies führt dazu, daß das Niederschlagswasser nicht in den Boden eindringen kann und oberflächlich abläuft. Im trockenen Zustand bilden sich viele Trockenrisse im Boden, die einen großen Teil vom Oberflächenwasser nach Starkregen aufnehmen können und somit die Bodenerosion vermindern. Die Bindigkeit verhindert darüber hinaus einen größeren Bodenverlust, so daß die Erosion sich nur als Schichterrosion bemerkbar macht.

Bei den mittelschweren, humusarmen Böden (P V) ist die Gefahr der Abschwemmung am größten, da die Böden schnell mit Wasser gesättigt sind, andererseits die Bindigkeit des Bo-

dens gering ist. Er kann infolgedessen selbst bei geringem Gefälle leicht abgetragen werden.

Die mittelschweren, humosen Böden (P I und P II), die längere Zeit brauchen, bis sie wassergesättigt sind und dazu noch größere Mengen aufnehmen können, unterliegen nur in steileren Lagen stark der Erosion, während sie in schwach geneigten Lagen ziemlich erosionsresistent sind.

Bei den mittelschweren, schwach humosen Böden (P IV) erfolgt die Wasseraufnahme ebenfalls sehr schnell, die Struktur ist aber sehr stabil, so daß das Wasser gut in den Boden eindringen kann. Hinzu kommt ihre Lage an den Unterhängen, so daß auch vom Gefälle her keine allzu großen Gefahren entstehen können.

5.4 Beschreibung der ausgewählten Profile

Profil I:

Ort: Auf der nördlichen Seite des Medjerda-Tales zwischen Tebourba und Djedeida am Djebel Maiana gelegen. Seehöhe um 70 m ü. NN.

Lage: Oberhang mit 20 - 30 % Gefälle nach SO.

Kulturart/Nutzung: Grasbewuchs, Weideland.

Ausgangsmaterial: Feste Kalke der Kreide.

Bodentypologische Bezeichnung: Rötliche Rendzina auf festem Kalkstein.

Profilaufbau:

Probe Tiefe

Nr.	in cm	Von Steinen bedeckter Boden, ca. 40 %. Mittlerer Grasbewuchs, gut durchwurzelt, Steingehalt des Bodens 40 %, krümelig, jedoch leicht zerreibbar, einige Kalkpartikelchen und Sandkörner erkennbar.
-----	-------	--

1 A_h 0-10 Dunkelroter (2,5 YR 3/6)^{*)}, schwach humoser, kalkhaltiger schluffiger Lehm (uL).

C ab 10 Kalkbrocken und fester Kalkstein.

Die starke Steinauflage und der hohe Skelettanteil begünstigen das Einsickern der Niederschläge, können aber trotzdem die Erosion nicht vollständig verhindern.

Der harte Kalkstein, der in der Nähe abgebaut und für Straßenschotterung verwendet wird, setzt der Verwitterung starken Widerstand entgegen.

Bodenabtrag und mangelnde Verwitterungsintensität lassen nur ein geringmächtiges Bodenprofil entstehen.

Der Kalkgehalt des Bodens beträgt 6,4 %, der pH-Wert 7,2. An Tonmineralen sind Kaolinit, Illit und Vermikulit vorhanden. Die Austauschkapazität erreicht 24,9 mval/100 g Boden.

Profil II:

Ort: Südlich der Straße von Tunis nach Medjez el Bab bei Kilometer 32. Hang des Argoub es Sehiri. Seehöhe um 110 m ü. NN.

Lage: Oberhang mit 19 % Gefälle nach NW.

Kulturart/Nutzung: Grasbewuchs mit einigen Kräutern, Weideland.

Ausgangsmaterial: Fester Kalk des Eozäns.

Bodentypologische Bezeichnung: Braune Rendzina auf festem Kalkstein.

Profilaufbau:

Probe Tiefe

Nr.	in cm	Steine bedecken den Boden zu ca. 40 %, guter Grasbewuchs und einige Kräuter, sehr gute Durchwurzelung. Steingehalt des Bodens 30 %, sehr krümeliger und lockerer Boden.
-----	-------	---

25 A _h	0-12	Stark dunkelbrauner (10 YR 2/2), stark humoser, mullrendzinaartiger, kalkhaltiger, sandig-
-------------------	------	--

^{*)} Für den feuchten Boden nach MUNSELL

schluffiger Lehm (suL).

C ab 12 Kalkbrocken und fester Kalkstein.

Auch bei dem Profil II wird der Boden durch die Steinauflage geschützt, daneben ist die gute bis sehr gute Durchwurzelung des Bodenraums günstig für den Zusammenhalt und der damit verbundenen Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen den Abtrag.

Der Gehalt des Bodens an organischer Substanz mit 11,5 % ist außerordentlich hoch und wurde auf keinem anderen Boden mehr angetroffen.

Der Kalkgehalt beträgt noch 23,5 %, der pH-Wert 7,4. Neben Kaolinit ist nur Halloysit als Tonmineral vorhanden, daneben noch Quarz.

Der Wert für die Austauschkapazität liegt bei 24,9 mval/ 100 g Boden, der von der organischen Substanz beeinflusst wird.

Profil III:

Ort: An der Straße von Toukabeur nach Chaouach, kurz vor diesem Ort, nördlich der Straße. Seehöhe um 400 m ü. NN.

Lage: Oberhang mit 3 % Gefälle nach SO.

Kulturart/Nutzung: Ackerland, mit Getreide bestellt.

Ausgangsmaterial: Mergel des Eozäns.

Bodentypologische Bezeichnung: Braune Mergelrendzina.

Profilaufbau:

Probe Tiefe

Nr.	in cm	Steinfreier Boden, der an der Oberfläche leicht zerschlämmt ist und einige Trockenrisse aufweist.
131 A _p	0-15	Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Schwach durchwurzelt, polyedrische Struktur. Bearbeitungsgrenze durch eine leichte Verdichtung erkennbar.

132 A 15-40 Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL).

Der Boden des Profils III zeigt die Eigenschaften der schweren Böden.

Die Durchwurzelung wird durch das schnelle Zerfließen des Bodens und Fehlens von genügend Porenraum sehr erschwert, und die Wasseraufnahmefähigkeit leidet unter der leicht zerschlammenden Oberfläche, die bei Austrocknung erhärtet. Der Gasaustausch geht aber durch die großen Schrumpfrisse vonstatten.

Der Kalkgehalt liegt bei 1,9 % im Oberboden und bewirkt einen pH-Wert von 6,9, die entsprechenden Werte für den Unterboden lauten 7,0 % und pH 7,0.

Das vorherrschende Tonmineral ist Montmorillonit, der auch den hohen Wert für die Austauschkapazität mit 24,4 mval/100 g Boden bewirkt. Daneben ist noch Kaolinit vorhanden.

Profil IV:

Ort: Nördlich der Straße von Medjez el Bab nach Tebourba, Unterhang des Henchir el Bey. Seehöhe um 60 m ü. NN.

Lage: Unterhang mit 4 % Gefälle nach SO.

Kulturart/Nutzung: Mandeln und Wein in abwechselnden Reihen.

Ausgangsmaterial: Kolluvium der umgebenden Hügel aus tertiärem Material.

Bodentypologische Bezeichnung: Umgelagerte, kalkhaltige Terra rossa.

Profilaufbau:

Probe Tiefe

Nr.	in cm	Kalkschutt einer gebrochenen Kruste bedeckt den Boden zu ca. 15 %. Die Bodenoberfläche wird dauernd offen gehalten.
-----	-------	---

43 A _p	0-15	Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL).
-------------------	------	--

Der Boden ist krümelig, einige Kalkbröckchen und Quarzkörner erkennbar beim Zerreiben.

44 B_v 15-60 Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL).

C ab 60 Verhärteter Ca-Horizont.

Die umgelagerte Terra rossa des Profils IV wird in ihrer jetzigen Lage von der Bodenerosion kaum noch beeinflusst. Außerdem läßt die Struktur und Stabilität der Krümel die Niederschläge gut eindringen und vermindert oder verhindert den oberflächlichen Abfluß fast vollkommen.

Dieser Boden, der nur an den auslaufenden, schwach geneigten Unterhängen vorkommt, wird hauptsächlich durch Wein-, Mandel- und Pfirsich-Anbau genutzt.

Der hohe Kalkgehalt ist durch sekundäre Kalkanreicherung von zufließenden Hangwässern entstanden.

An Tonmineralen sind Illit und Halloysit vorhanden. Die Austauschkapazität beträgt 21,2 mval/100 g Boden.

Profil V:

Ort: Südlich der Straße von Tunis nach Medjez el Bab, etwa 1 km von der Straße entfernt, ca. 3 km vor dem Dorf.
Seehöhe ca. 65 m ü. NN.

Lage: Ebenes Feld, leichte Neigung nach N.

Kulturart/Nutzung: Ackerland, unbearbeitete Brache, Getreidestoppeln, einige Unkräuter.

Ausgangsmaterial: Kolluviales Verwitterungsmaterial tertiären Ursprungs.

Bodentypologische Bezeichnung: Brauner humusarmer Karbonatboden.

Profilaufbau:

Probe Tiefe

Nr.	in cm	Steinfreier Boden; der Oberboden ist etwas verfestigt, zeigt aber keine Trockenrisse.
15a A _p	0-20	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-schluffiger Lehm (suL). Mittlere Durchwurzelung, polyedrische Struktur, keine Profildifferenzierung.
17a E ₁	20-40	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Noch einige Wurzeln, Krümel zerreibbar, Kalksplitter erkennbar.
19a E ₂	40-60	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Keine Wurzeln mehr vorhanden, ab 50 cm kleine Kalkbröckchen.

Der Boden entwickelt sich in einer jungen Aufschüttung und zeigt noch keine Profildifferenzierung. Die durch ihren Gehalt an Wurzeln unterscheidbaren Bodentiefen werden mit dem Buchstaben E (Erosionsmaterial) gekennzeichnet (JUNG 1953, FRANZ 1960).

Dieser Braune humusarme Karbonatboden ist im Untersuchungsgebiet sehr weit verbreitet. Er ist sowohl an den Hängen als auch im Kolluvium zu finden.

Sein Kalkgehalt liegt in der Regel um 25 %.

Der Humusgehalt ist gering und geht über 3 % kaum hinaus, bei Ackerböden ohne Zufuhr von organischer Substanz liegt der Wert unter 2 %.

Von den Tonmineralen wurden Kaolinit, Illit und Vermikulit festgestellt. Die Austauschkapazität liegt mit 11,2 mval/100 g Boden sehr niedrig.

Der pH-Wert liegt zwischen 7,3 und 7,7.

Die Ackernutzung dieser Böden erfolgt meist durch Getreideanbau, in weniger günstigen Lagen herrscht Weideland vor.

Profil VI:

Ort: 50 m nördlich der Straße von Tunis nach Medjez el Bab,
etwa 4 km vor dem Ort, Seehöhe um 60 m ü. NN.

Lage: Ebenes Feld, Talebene des Medjerda.

Kulturart/Nutzung: Ackerland, gepflügt.

Ausgangsmaterial: Alluvium des Medjerda.

Bodentypologische Bezeichnung: Kalkhaltige Vega über umgelagerter Terra rossa.

Profilaufbau:

Probe Tiefe

- | Nr. | in cm | |
|--------------------|---------|---|
| | | Bodenprofil an einem frisch ausgehobenen Entwässerungsgraben. Der Boden ist noch ohne Horizontbildung. Verschiedene Färbungen zeigen aber eine Schichtung an. Steine sind keine vorhanden. In 100 - 150 cm Tiefe fällt eine Anhäufung von Schneckenhäusern auf. |
| 35 A _p | 0- 20 | Rötlichbrauner (5 YR 4/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L) mit Krümelstruktur, Wurzelreste von Getreide. |
| 36 AB _v | 20- 40 | Gelblichroter (5 YR 4/6), humusarmer, kalkhaltiger toniger Lehm (tL). Polyederstruktur, mittlere Aggregatstabilität. |
| 37 BC | 40- 70 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL). Polyederstruktur, mittlere Aggregatstabilität. |
| 38 C ₁ | 70-100 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). |
| 39 C ₂ | 100-150 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). Polyederstruktur mit guter Aggregatstabilität. |
| 40 C ₃ | 150-200 | Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL). Prisma- |

tische Struktur mit guter Aggregatstabilität.

Die Böden der Medjerda-Aufschüttung sind als schwer bis mittelschwer zu bezeichnen und variieren in der Zusammensetzung des Feinbodens je nach der Entfernung vom Fluß und Ablagerungsschicht.

Sie sind kalkhaltig und schwach humos bis humusarm.

Der Salzgehalt ist sehr gering, die elektrische Leitfähigkeit erreicht in der Krume nur 3,67 mS/cm, so daß keine Anbaubeschränkungen auftreten.

Der pH-Wert liegt bei 7,8.

Das vorherrschende Tonmineral ist auch in diesen Böden Kaolinit, daneben sind Illit und Chlorit vorhanden.

Die Austauschkapazität beträgt 14,8 mval/100 g Boden, bei einem Tongehalt von 33,8 % im A_p-Horizont.

6. Die Bodenerosion im Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet wurde nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

Das Medjerda-Tal gehört neben dem Cap Bon, dem Sahel um Sousse und der Region um Sfax zu den Hauptgebieten tunesischer Landwirtschaft.

Während im Sahel und dem Gebiet um Sfax in erster Linie der Olivenbaum kultiviert wird, auf der Halbinsel Cap Bon hauptsächlich Obstplantagen angelegt sind, liegt die Hauptnutzung im Medjerda-Tal heute noch beim Getreide. Es werden außerdem in steigendem Umfang Obst und Gemüse angebaut, während der Olivenanbau zurückgeht.

Im Medjerda-Tal ist auf einem relativ kleinen Raum die Möglichkeit gegeben, unter annähernd gleichen Klimabedingungen verschiedene Böden unter gleicher Nutzung auf ihre Erosionsgefährdung zu untersuchen.

Die schädliche Wirkung der Bodenerosion beruht auf der Verkürzung der Bodenprofile am Oberhang und Auflagerung und Bedeckung am Hangfuß durch den Einfluß von Starkregen. Neben den Bodenteilchen werden aber auch Nährstoffe wie Kali, Phosphor, Stickstoff und die organische Substanz verlagert.

Die Verkürzung des Bodenprofils hat eine Verringerung des Speicherraums für das Niederschlagswasser zur Folge, so daß es bei starkem Regenfall als Oberflächenwasser abfließt. Dabei treten erhebliche Bodenschäden auf. Andererseits geht es als Bodenwasser der Vegetation verloren.

Gerade im semiariden Gebiet ist die verminderte Wasserspeicherung ein wichtiger Punkt bei der Verhinderung der Bodenerosion, da sie eine Kettenreaktion auslöst, die folgendermaßen abläuft:

Durch die geringe Wasserspeicherung kann nur eine spärliche Vegetation gedeihen, da die Pflanzen in ihrer Hauptwachstums-

zeit nicht ausreichend mit Niederschlägen versorgt werden. Sie vertrocknen deshalb schon sehr bald und bilden keinen Bodenschutz mehr. Dies bedeutet, daß große Teile der Bodenoberfläche dem Aufprall der Regentropfen preisgegeben sind und die zerstörende Wirkung des ablaufenden Oberflächenwassers einsetzt. Der Boden wird abgetragen und mit ihm der Feinboden mit den Nährstoffen. Das Bodenprofil wird weiter verkürzt und die Wasserspeicherung des Bodens wird noch mehr eingeengt, so daß die Pflanzendecke noch spärlicher wird und sich die Erosionsanfälligkeit weiter erhöht.

In diesem stark welligen Gelände können sich keine großen Wassereinzugsgebiete ausbilden. Es ist zwar eine große Anzahl von Hängen vorhanden, deren Gefälle in gleicher Richtung aber nur kurze Strecken pro Flächeneinheit beträgt, so daß die Erosionsgefahr auf diesen geraden Hängen nicht extrem hoch ist.

Auf den kleineren Hangflächen tritt die Bodenerosion meist als Schichterrosion in Erscheinung.

Nur auf langen Hängen, die selbst genügend große Mengen Tagwasser liefern, kommt es auch zu größeren Anrissen.

Große Schäden treten immer dann auf, wenn das Tagwasser in Hohlhängen zusammenfließen kann. Es gerät beim Abfluß in turbulente Bewegung, so daß in den feinerdereichen Aufschüttungen tiefe Gräben und steilwandige Gullies eingerissen werden. (Siehe Abb. 4)

6.1 Bodenprobenentnahme

Um den Ablauf der Bodenverlagerung an den Hängen feststellen zu können, wurden an verschiedenen Punkten des Hanges Bodenproben entnommen und die Entnahmestellen dabei so gelegt, daß sie ungefähr eine Linie von der Höhe zur Senke bilden und nach Möglichkeit auf Hangrücken liegen.

Es wurden bei den flachgründigen Profilen Oberboden und soweit möglich der Unterboden entnommen.

Bei mächtigeren Profilen erfolgte aus jeder Tiefe in 20 cm Abstand eine Probenentnahme, sofern nicht ein gleichmäßiger Horizont von größerer Mächtigkeit direkt an der Farbe oder Körnung erkennbar war.

Bei Profilen auf bewirtschafteten Flächen wurden auch bei größerer Mächtigkeit nur Ober- und Unterboden zur Analyse verwendet.

Insgesamt wurden 5 solcher Profilreihen untersucht, wobei die Profilreihen I und II Querschnitte durch das Medjerda-Tal darstellen (Karte 3).

Die Profilreihen II,2, III und IV sind an Hängen angelegt, die sich bodentypologisch und nach den Gefälleverhältnissen sowie nach der Nutzungsart unterscheiden.

Das Bodenprofil an den einzelnen Entnahmestellen wurde beschrieben, soweit eine Probenentnahme erfolgte.

Auf die Anwendung einer Nomenklatur und Bezeichnung der Bodenhorizonte wurde verzichtet, da infolge Bodenumlagerung eine klare Definition nicht immer möglich war und die Böden zum großen Teil als Relikte und azonale Bildungen einzustufen sind. Die Beifügung der Horizontbezeichnung würde eine sehr unsichere Aussage bedeuten, da eine Vergleichsmöglichkeit mit einem ungestörten Profil nicht gegeben war. Die sich abzeichnende bodentypologische Entwicklung ist aber bei jeder Entnahmestelle in Klammern angegeben.

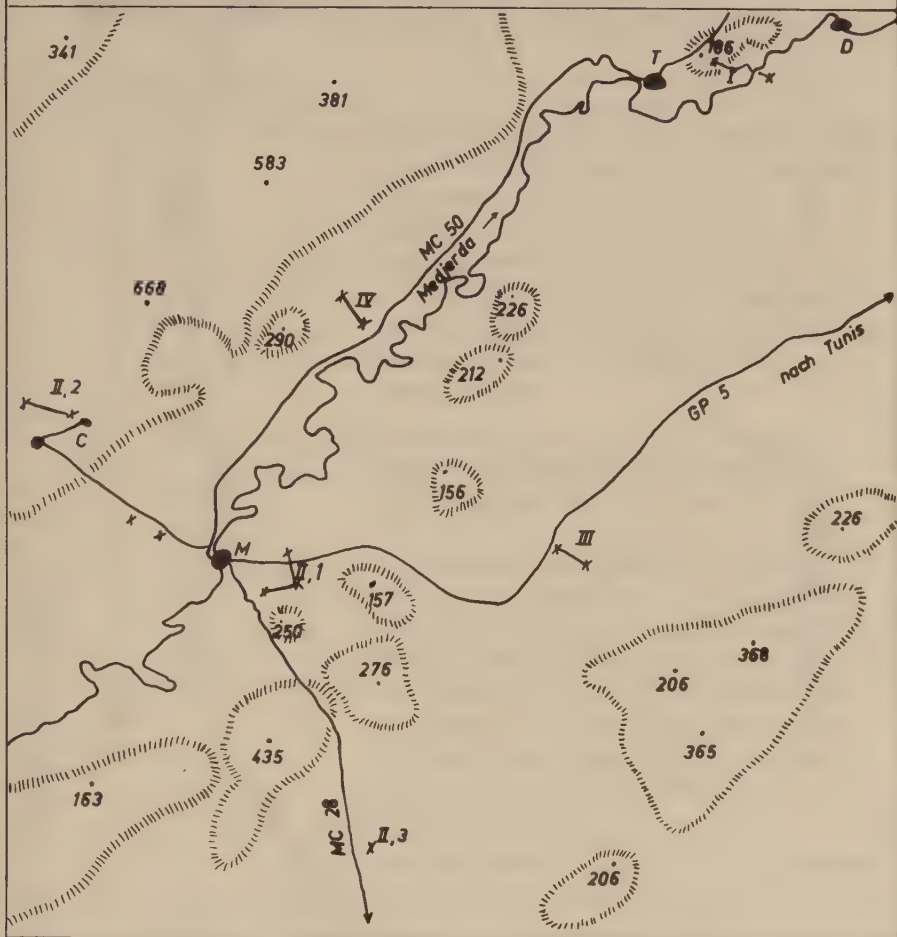
6.2 Lage und Beschreibung der Profilreihen

Die Profilreihe I wurde zu beiden Seiten des Medjerda zwischen Tebourba und Djedeida gelegt.

Die Reihe umfaßt 10 Entnahmestellen, vom Oberhang der Nordseite des Flusses über die Aufschüttung, einem zwischengelagerten Kalkkopf zur Flußaufschüttung und auf der gegen-

Übersichtskarte zur Lage der Profilreihen

Karte 3



C = CHAOUACH

D = DJEIDEIDA

M = MEDJEZ EL BAB

T = TEBOURBA

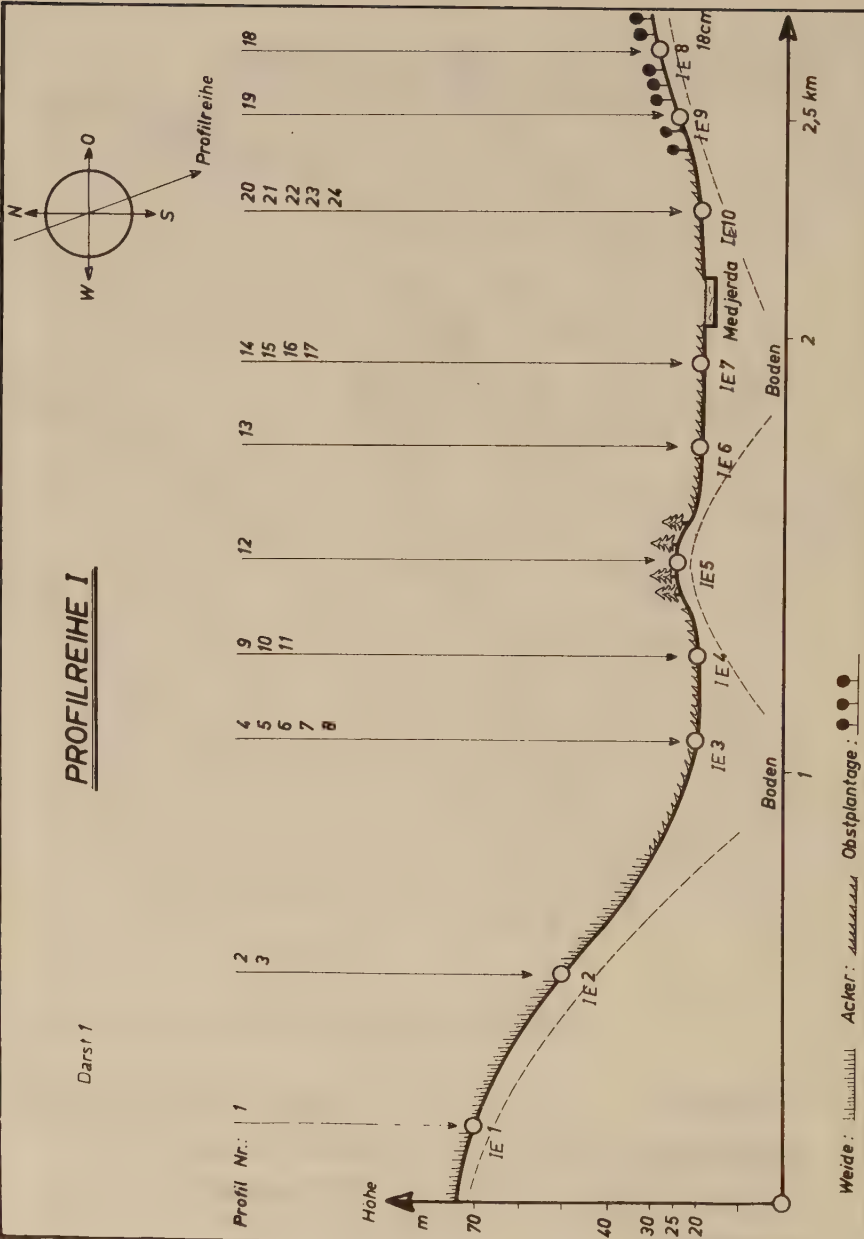
Maßstab 0 10 km

206 : Höhe ü. NN

 Bergland

PROFILREIHE I

Darst 1



überliegenden Seite vom Hang zur Aufschüttung (Darstellung 1).

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

I E₁

Oberhang mit 25 % Gefälle, Grasbewuchs, Steinauflage 40 %, Steingehalt des Bodens 40 %. Der Boden ist gut durchwurzelt und besitzt eine gute Aggregatstabilität. Im Untergrund steht fester Kalkstein an. Das umgelagerte rote Bodenmaterial unterliegt einer Rendzinierung (Rendzinierte Terra rossa).

- | | | |
|---|------|--|
| 1 | 0-10 | Dunkelroter (2,5 YR 3/6), schwach humoser, kalkhaltiger, schluffiger Lehm (uL) auf festem Kalkstein. |
|---|------|--|

I E₂

Mittelhang mit 8 - 10 % Gefälle, umgelagerter Boden, mit Geröll von Konglomeraten (30 - 35 %) durchsetzt und gut durchwurzelt mit guter Aggregatstabilität. Auch dieses Material ist durch die rote Farbe gekennzeichnet und stammt von einer umgelagerten Terra rossa (Rötliche Rendzina).

- | | | |
|---|-------|--|
| 2 | 0-15 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL). |
| 3 | 15-20 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, sandiger Lehm (sL). |

I E₃

Aufschüttung mit 1 - 2 % Gefälle, Ackerland; zur Zeit der Probenentnahme Brache, die mit Unkräutern bewach-

Entnahme-	Probe	Tiefe
stelle	Nr.	in cm

sen war. Die Oberfläche ist verfestigt und weist polygonale Trockenrisse auf. Der Boden ist steinfrei, eine Profildifferenzierung ist nicht festzustellen. Durchwurzelung und Aggregatstabilität sind gut.

Das Bodenprofil wird laufend durch Anschüttung verlängert. Der Boden besteht aus umgelagerter Terra rossa mit eingemischtem CaCO_3 (Terra rossa, kalkhaltig).

- | | | |
|---|--------|--|
| 4 | 0-15 | Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, schluffiger Lehm (uL). |
| 5 | 15-40 | Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). |
| 6 | 40-60 | Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). |
| 7 | 60-80 | Dunkelroter (2,5 YR 3/6), humusarmer, kalkhaltiger, schluffiger Ton (uT). |
| 8 | 80-100 | Roter (2,5 YR 4/8), humusarmer, kalkhaltiger, schluffiger Ton (uT). |

I E₄

Lichter Schwarzkiefernbestand mit 4 % Gefälle, dünner Grasbewuchs. Die Entnahmestelle liegt am Fuße einer Kalkkuppe. In der Tiefe von 50 cm hat sich eine Kalkkruste herausgebildet, auf die das in Umlagerung befindliche Hangmaterial aus ehemaliger Terra rossa und

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

Kalksand aufgelagert wird (Rötl.
Rendzina).

- | | | |
|----|-------|---|
| 9 | 0-15 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4),
Schwach humoser, kalkhaltiger, sandig-
schluffiger Lehm (suL), mit guter
Durchwurzelung und Krümelstruktur. |
| 10 | 15-30 | Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusar-
mer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L)
mit Polyedergefüge und mittlerer
Durchwurzelung. |
| 11 | 30-50 | Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusar-
mer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L)
mit Polyedergefüge, schwach durchwur-
zelt, Übergang zur Kalkkruste. |

I E₅

Kalkkopf, mit der gleichen Vegetation
wie bei I E₄. Der rötlichbraune Ober-
boden liegt direkt auf einer Kalk-
kruste. Seine Mächtigkeit wird durch
Bodenerosion laufend verringert (Rötl.
Rendzina).

- | | | |
|----|------|--|
| 12 | 0-16 | Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4),
schwach humoser, kalkhaltiger, sandig-
schluffiger Lehm (suL), gut durchwur-
zelt, gute Krümelstruktur, hohe Aggre-
gatstabilität, auf fester Kalkkruste. |
|----|------|--|

I E₆

Flußaufschüttung, Ackerland, gepflügt,
Bewässerungsfläche, 50 m vom Fluß,
ebene Lage. Der Boden zeigt keine
ausgesprochene Profildifferenzierung
und ist eine Aufschüttung von rötli-
chem Hangboden und fluviatilem Mate-
riäl (Kalkhaltige Vega).

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	13	0-30	Gelblichbrauner (10 YR 5/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Wurzelreste lassen eine gute Durchwurzelung erkennen. Polyederstruktur und gute Aggregatstabilität.

I E₇

Flußböschung, mit Gras bewachsen, Bodenschichtung an der Farbe und der Körnung erkennbar. Die gleiche Situation wie bei I E₆.

	14	0-20	Dunkel-gelblichbrauner (10 YR 4/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Sand (TS), gut durchwurzelt.
	15	20-100	Gelblichbrauner (10 YR 5/4), kalkhaltiger, schluffiger Sand (uS).
	16	100-120	Dunkelbrauner (7,5 YR 4/4), kalkhaltiger, sandiger Lehm (sL).
	17	120-150	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL) auf anstehender Kalkkruste. (siehe Abb. 1)

I E₈

Oberhang auf der Südseite des Flusses. Obstkultur mit offener Bodenoberfläche. Gefälle 8 - 10 %, Kalkbrocken der anstehenden Kruste bedecken den Boden zu 25 - 30 %. Das kalkhaltige Verwitterungsmaterial ist durchsetzt mit roten Relikten und ist hangabwärts in Umlagerung begriffen (Rötlichbraune Rendzina).

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	18	0-15	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL).
I E ₉			Unterhang, Obstkultur mit offener Bodenoberfläche, 5 % Gefälle, Kalk- brocken 20 %, Situation wie bei I E ₈ .
	19	0-15	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), schwach humoser, kalkhaltiger, san- diger Lehm (sL).
I E ₁₀			Ackerland mit Getreide bewachsen, 2 % Gefälle, steinfrei. Der Boden bildet sich in kolluvialem, kalkhal- tigem Ausgangsmaterial, welches einer- seits vom Hang abgelagert wird, in das aber andererseits auch Flußabla- gerungen eingemischt werden. Überflutung in unregelmäßigen Zeit- abständen (Rendzina).
	20	0-20	Brauner (10 YR 4/3), schwach humoser, kalkhaltiger, sandiger Lehm (sL), gut durchwurzelt, gute Aggregatstabilität.
	21	20-40	Dunkelbrauner (7,5 YR 4/4), schwach humoser, kalkhaltiger, sandig-schluf- figer Lehm (suL), mit guter Durchwur- zelung und guter Aggregatstabilität.
	22	40-60	Hell-gelblichbrauner (10 YR 6/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandiger Lehm (sL).
	23	60-80	Gelblichbrauner (10 YR 5/4), humus- armer, kalkhaltiger, sandig-schluffi- ger Lehm (suL).

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	24	80-100	Brauner (10 YR 5/3), humusarmer, kalk- haltiger, schluffig-lehmiger Sand (uls).

Tabelle 1: Profilreihe I

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	Tiefe in cm	Ton	Schluff	Feinsand	Mittel- + Grobsand
			< 0,002	0,002-0,06	0,06-0,2	0,2-2,0
			mm Ø	mm Ø	mm Ø	mm Ø
			in % des Feinbodens			
I E ₁	1	0- 10	22,4	58,6	12,1	6,9
I E ₂	2	0- 15	27,6	34,5	11,3	26,6
	3	15- 50	25,1	35,4	10,6	28,9
I E ₃	4	0- 20	22,2	65,6	9,2	3,0
	5	20- 40	41,8	46,4	8,6	3,2
	6	40- 60	45,9	43,9	8,1	2,1
	7	60- 80	53,2	38,2	6,6	2,0
	8	80-100	54,7	36,4	6,2	2,7
I E ₄	9	0- 15	24,0	48,5	15,6	11,9
	10	15- 30	27,7	47,8	15,4	9,1
	11	30- 50	31,7	43,3	16,0	9,0
I E ₅	12	0- 16	21,9	42,8	19,1	16,2
I E ₆	13	0- 30	34,5	46,3	15,9	3,3
I E ₇	14	0- 20	13,8	30,0	40,3	15,9
	15	20-100	6,4	12,2	55,6	25,8
	16	100-120	23,0	33,6	22,1	21,3
	17	120-150	34,4	32,3	19,5	13,8
I E ₈	18	0- 15	28,7	34,7	19,6	17,0
I E ₉	19	0- 15	24,5	39,0	22,5	14,0
I E ₁₀	20	0- 20	23,0	36,9	22,1	16,0
	21	20- 40	22,1	43,7	16,8	17,4
	22	40- 60	16,4	43,3	15,1	25,2
	23	60- 80	15,2	46,3	15,4	23,1
	24	80-100	12,0	40,4	15,0	32,6

Tabelle 2: Profilreihe I

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	P ₂ O ₅ mg/100g Boden	K ₂ O mg/100g Boden	CaCO ₃ %	Org. Substanz %
I E ₁	1	1,6	40,4	6,4	4,1
I E ₂	2	10,0	90,0	12,7	2,6
	3	8,4	49,4	14,9	2,5
I E ₃	4	5,0	95,0	2,8	2,9
	5	3,2	55,0	6,4	1,9
	6	0,8	41,4	2,8	1,7
	7	0,0	38,6	2,1	0,7
	8	0,4	23,8	3,4	0,2
I E ₄	9	4,2	55,0	14,9	4,0
	10	2,2	34,2	17,0	1,9
	11	3,2	26,2	17,0	1,5
I E ₅	12	3,6	49,4	24,1	3,7
I E ₆	13	5,0	42,2	40,8	2,4
I E ₇	14	11,0	26,2	37,8	1,7
	15	4,6	7,4	32,3	0,0
	16	2,9	18,0	33,2	0,7
	17	4,2	25,2	21,2	1,7
I E ₈	18	10,0	42,6	31,3	2,9
I E ₉	19	38,0	117,0	25,5	3,8
I E ₁₀	20	20,6	52,0	43,8	3,4
	21	26,6	62,0	51,0	2,2
	22	33,6	57,0	59,1	1,5
	23	46,6	136,0	57,8	1,3
	24	40,6	252,0	66,3	1,6

Tabelle 3: Profilreihe I

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Austausch- kapazität mval/100 g Boden	Kapillare Wasseraufstiegs- geschwindigkeit		
					ml H ₂ O	Minuten	ml/min.
I E ₁	1	8,2	7,2	24,91	10,9	50	0,21
I E ₂	2	8,7	7,6	16,96	8,6	43	0,20
	3	8,5	7,6	18,34	9,9	27	0,37
I E ₃	4	8,4	7,3	22,84	10,6	37	0,29
	5	8,4	7,3	21,77	10,0	41	0,24
	6	8,5	7,2	21,15	11,7	15	0,78
	7	8,4	7,1	21,17	11,1	18	0,62
	8	8,4	7,0	20,84	11,5	21	0,55
I E ₄	9	8,4	7,4	20,93	10,7	17	0,63
	10	8,6	7,4	16,80	10,6	31	0,34
	11	8,5	7,5	17,53	11,6	25	0,48
I E ₅	12	8,6	7,6	18,84	10,4	38	0,27
I E ₆	13	8,8	7,7	17,82	10,1	181	0,05
I E ₇	14	8,5	7,8	9,01	9,9	28	0,35
	15	8,8	8,2	2,70	7,7	7	1,10
	16	8,5	7,8	10,03	8,8	50	0,18
	17	8,2	7,6	16,96	9,3	29	0,32
I E ₈	18	8,4	7,5	18,25	10,6	25	0,42
I E ₉	19	8,2	7,5	18,46	11,0	33	0,33
I E ₁₀	20	8,6	7,7	15,01	10,3	86	0,12
	21	8,8	7,9	11,92	11,8	35	0,34
	22	8,7	8,0	10,97	11,2	67	0,17
	23	8,4	7,9	11,90	12,1	47	0,26
	24	8,8	8,0	13,96	13,4	77	0,17

Die Profilreihe I

Wenn man die Einzelwerte der Bodenanalysen miteinander vergleicht, kann man daraus Rückschlüsse auf die Bodenverlagerung an den Hängen ziehen, da die Nährstoffe mit dem Feinboden transportiert werden.

Es können Humus und insbesondere Phosphorsäure als Indikatoren für die Bodenerosion gelten, wenn man gleichzeitig die Kornverteilung und auch CaCO_3 und K_2O in ihrer Verteilung am Hang berücksichtigt.

So zeigen die geringen Phosphorsäurewerte (1,6 mg/100 g Boden) bei der Entnahmestelle I E₁ der Profilreihe 1 schon den Vorgang des Bodenabtrags in diesem Profil an; auch das Kali hat einen geringeren Wert als das folgende Hangprofil (40,0 mg/100 g Boden gegenüber 90,0 mg), da beide Nährstoffe mit den feinen Bodenteilen verlagert werden. Beim ersten Hangprofil (I E₂) handelt es sich um umgelagertes Bodenmaterial, was durch die geringen Unterschiede von P_2O_5 in Ober- und Unterboden deutlich wird (10,0 mg und 8,4 mg). Das Ansteigen von CaCO_3 läßt auf die Nähe des karbonatreichen Unterbodens schließen und weist damit ebenfalls auf den Abtrag hin. Die höhere Sandanreicherung ist relativ. Sie erklärt sich durch die Ausspülung der Ton- und Schluffteilchen, die zum Hangfuß hin verfrachtet werden und dort ein Ansteigen des Feinbodens bewirken.

Der höhere P_2O_5 -Gehalt und die hohen K_2O -Werte der Aufschüttungszone (I E₃) gegenüber I E₁ zeigen die Umlagerung am Hang an (5,0 mg P_2O_5 und 95,0 mg K_2O).

I E₄ wird von I E₅ (Kalkkopf) in seinem Bodenaufbau beeinflusst, wie das auch bei I E₆ zu erkennen ist. Hier wird aber in der Kornverteilung (Tonanreicherung) der Einfluß der Überflutung deutlich, die auch die hohe Karbonatführung verursacht. Die organische Substanz bei I E₄ und I E₅ erklärt sich durch die Vegetation auf diesen Flächen (Kiefernbestand). Auf dem Kalkkopf (I E₅) beträgt die Bodentiefe nur 16 cm und die Werte ähneln mit Ausnahme des Karbonat- und

Sandanteils, die hier höher liegen, den Verhältnissen bei I E₁. Die Situation des Bodenabtrags ist die gleiche. Die Flußaufschüttung (I E₇) zeigt unterschiedliche Kornverteilung und unregelmäßige Nährstoffverteilung, die keine Rückschlüsse auf Verlagerung durch Bodenerosion zulassen. Es sinken die Werte für die abschlämmbaren Teile direkt am Fluß stark ab und der Sandanteil erhöht sich auf 56 % im Oberboden, in 100 cm Tiefe sind es sogar 80 %. Erst in größerer Tiefe nimmt der Tongehalt zu, auch der Gehalt an organischer Substanz liegt höher als im Oberboden. Dies deutet auf eine ehemalige Oberfläche hin. Die Bodenfarbe dieser Schicht ist die gleiche wie bei den Böden I E₄ und I E₅ im Oberboden.

Auf der Südseite des Flusses zeigt die Korngrößenverteilung des Oberhangprofils (I E₈) die gleiche Bodenart an wie am gegenüberliegenden Hang (stL). Unterschiedlich ist der Gehalt an CaCO₃, der durch die Bearbeitung bedingt ist, bei der fortlaufend neues kalkreiches Material hochgepflügt wird.

Am Unterhang (I E₉) steigen die Gehalte an Phosphor und Kali auf das 3 - 4fache an (38 mg/100 g Boden P₂O₅ und 117,0 mg/100 g Boden K₂O), die organische Substanz erhöht sich ebenfalls. Der Tongehalt ändert sich wenig, auch bei den anderen Kornfraktionen sind keine wesentlichen Veränderungen erkennbar. Eine Verlagerung von unsortiertem Material in seiner Gesamtheit ist als Ursache hierfür anzusehen.

Am Hangfuß (I E₁₀) findet eine starke Anreicherung der Pflanzennährstoffe statt. So steigt der Gehalt an P₂O₅ von der Krume zur Tiefe um das 2 1/2fache, K₂O um das 5fache an. Die organische Substanz nimmt zwar mit der Tiefe ab, jedoch ist noch in 80 - 100 cm Tiefe ein Gehalt von 1,6 % festzustellen. Mit dieser lateralen Nährstoffwanderung wird die Bodenbewegung und Verlagerung des unsortierten Materials angezeigt; besonders ist die starke Erhöhung des CaCO₃ zu erwähnen.

Aus der Darstellung 1 ist ersichtlich, daß die auf den nördlichen Hängen stark angreifende Bodenerosion nur eine Weidenutzung zuläßt, während auf den kolluvialen Flächen zu beiden Seiten des Flusses der Ackerbau von den Anlandungen und Aufschüttungen möglich ist.

Die weniger steile Hangfläche am südlichen Ufer wird trotz der Abtragungsvorgänge, die aber geringer sind als am Nordhang, als Obstplantage genutzt.

Die Profilreihe II liegt ebenfalls zu beiden Seiten des Medjerda in Höhe von Medjez el Bab und besteht aus 2 getrennten Profilreihen und einem Einzelprofil.

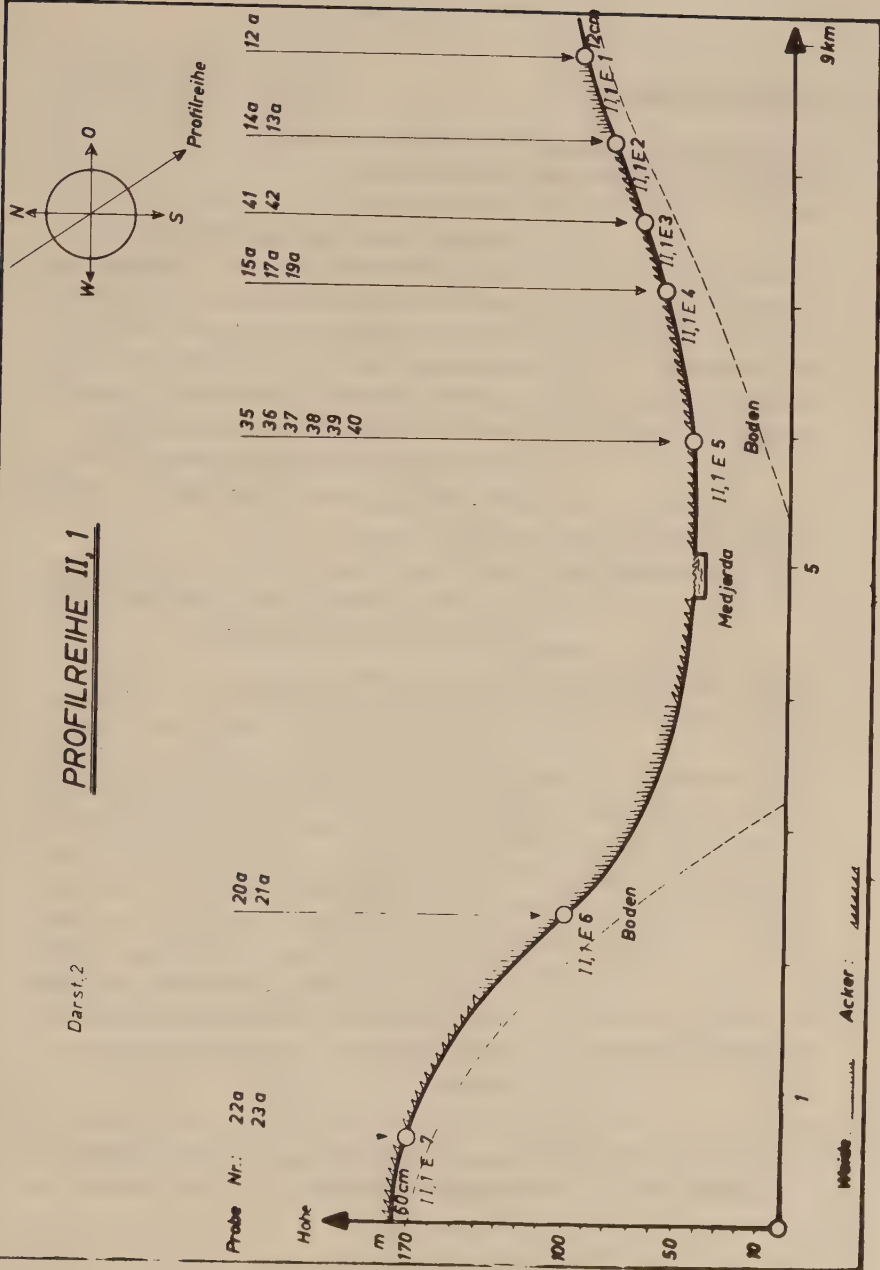
Die Profilreihe II,1 umfaßt 7 Entnahmestellen, die vom Oberhang auf der Südseite des Flusses über den Mittelhang und Unterhang zur Aufschüttung und zur Flußaufschüttung reicht. Auf der nördlichen Seite des Flusses wurden Oberhang und Unterhang erfaßt (Darstellung 2).

Die Profilreihe II,2 mit 4 Entnahmestellen liegt nördlich des Flusses zwischen Toukabeur und Chaouach auf einem schwach nach SO geneigten Hang mit 10 % Gefälle.

Das Profil II,3 wurde in der Ebene von Goubellat aufgegraben, die ohne Verbindung mit der Medjerda-Ebene steht. Sie liegt etwa 150 m über NN und ist eine Aufschüttungsebene des Quartärs.

Darst. 2

PROFILREIHE II, 1



Die Profilreihe II,1

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

II,1 E₁

Oberhang, mit wechselnder Bodentiefe je nach Härte des anstehenden Materials, Kalk oder Mergel. Terrassiert und mit Tuja und Zypresse bepflanzt. Steingehalt der Auflage ca. 70 %, der Boden selbst ist steinfrei, polyedrisch und gut durchwurzelt. Die Fläche stellt den Oberboden einer Rendzina dar, die dem Abtrag in diesem Gefälle unterliegt (Braune Rendzina).

12a	0-10	Gelblichbrauner (10 YR 5/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L) auf festem Kalkstein.
-----	------	--

II,1 E₂

Mittelhang, 8 % Gefälle, Weideland, Steinauflage 20 %. Der Boden liegt im gleichen Gefälle wie II E₁. Er unterliegt gleichermaßen dem Abtrag und auch der Überlagerung von höheren Hangteilen, wenn die Weidefläche durch Überweidung und Tritt der Weidetiere beschädigt wird. Die Vegetation ist spärlich, so daß eine Bodenverlagerung und Veränderung der obersten Bodenschicht laufend zu erwarten ist. (Brauner humusarmer Karbonatboden).

14a	0-10	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Mäßig durchwurzelt, polyedrisches Gefüge.
-----	------	---

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	13a	10-30	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Kalkbröckchen 5 % im Boden verteilt.
II,2 E ₃			Unterhang, 4 % Gefälle, Ackerland mit Getreide, steinfrei. Das Bodenmaterial ist das gleiche wie bei II E ₂ . Die Nutzung als Ackerland läßt trotz geringen Gefälles Zwischenablagungen erwarten. (Brauner humusarmer Karbonatboden).
	41	0-20	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L), gut durchwurzelt, hohe Aggregatstabilität.
	42	20-40	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L), noch gut durchwurzelt.
II,1 E ₄			Aufschüttung, Ackerland, Brache ohne Bearbeitung, Getreidestoppeln noch vorhanden; keine starke Verunkrautung, 2 % Gefälle. Das gleiche Bodenmaterial mit verlängertem Profil infolge Aufschüttung (Brauner humusarmer Karbonatboden).
	15a	0-20	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-schluffiger Lehm (suL).
	17a	20-40	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Polyedrisch, krümelig, steinfrei.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	19a	40-60	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Ab 50 cm Kalkbröckchen, polyedrische Struktur, keine Wurzelreste mehr vorhanden.
II,1 E ₅			Flußaufschüttung, Ackerland, gepflügt, frisch ausgehobener Entwässerungsgraben, zeigt keine Profilausbildung, nur Schichtung ist an den verschiedenen Farben festzustellen. Steine sind keine vorhanden. In 100-150 cm Anhäufung von Schneckenhäusern. Der Boden setzt sich aus fluviatilem Material und aus Erosionsmaterial der oben geschilderten Hangböden zusammen und ist infolgedessen mit Feinboden, insbesondere Ton, angereichert, die bis in 2 m Tiefe reichen. Die Aufschüttung wird auch durch die relativ hohen Nährstoffwerte im Unterboden bestätigt. Eine klare Horizontdifferenzierung ist morphologisch noch nicht klar ausgebildet (Kalkhaltige Vega).
	35	0-20	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Krümelstruktur, aber nicht sehr stabil.
	36	20-40	Gelblichroter (5 YR 4/6), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t L). Polyedrische Struktur, die Aggregatstabilität ist mittelmäßig.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	37	40- 70	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), humusarmer, kalkhaltiger, sandig- toniger Lehm (stL). Polyederstruktur, mittlere Aggregatstabilität.
	38	70-100	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t L).
	39	100-150	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). Polyederstruktur mit hoher Aggregatstabilität, Schneckenhäuser.
	40	150-200	Rötlichbrauner (5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL). Priëmatische Struktur mit ho- her Aggregatstabilität.

II,1 E₇

Nordseite des Flusses, Oberhang mit
10 ‰ Gefälle, Ackerland gepflügt mit
Wurzelresten in den Schollen. Es han-
delt sich um einen Boden am Oberhang,
der Abtragungsvorgängen unterliegt.
Damit verkürzt sich der A_p-Horizont
im Laufe der Zeit und bei der Bear-
beitung wird Rohboden (Mergel) in die
Krume eingearbeitet (Mergelrendzina,
braun).

22a	0-22	Gelblichbrauner (10 YR 5/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t L). Polyedrische Struktur mit gu- ter Aggregatstabilität.
23a	22-60	Sehr fahlbrauner (10 YR 7/4), humus- armer, kalkhaltiger, schluffig-toniger Lehm (utL). Diese Schicht geht in den anstehenden Mergel über.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

II,1 E₆

Unterhang mit 4 % Gefälle, Weidenutzung, Steinauflage 15 %, zum größten Teil abgerundete Kieselsteine. Der Boden unterliegt der Zwischenablagerung von Bodenmassen des Oberhanges. Das Solum ist gleich dem am Oberhang (Rendzina, braun).

20a	0-18	Brauner (10 YR 4/3), schwach humoser, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Polyedrisch und gut durchwurzelt.
-----	------	--

21a	18-50	Brauner (10 YR 4/3), schwach humoser, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Feuster gelagert als die Krume und liegt auf einer konglomeratreichen Kruste einer ehemaligen Flußterrasse.
-----	-------	--

Die Profilreihe II,2

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

II,2 E₁

Hangkopf mit 3 % Gefälle, Ackerland, Getreide, steinfreier Boden. Boden auf Mergel, dessen Krume durch den Bodenabtrag verkürzt ist und dauernd unter dem Einfluß abtragender Vorgänge steht (Mergelrendzina).

131	0-15	Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Schwach durchwurzelt, polyedrische Struktur.
-----	------	--

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	132	15-	Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm (stL). Ober- und Unterboden durch die Bearbeitungsgrenze am Gefüge sichtbar. Die Krümel sind bei Trockenheit sehr fest, zerfließen aber bei Feuchtigkeit sehr schnell.
II,2 E ₂			Dasselbe wie II,2 E ₁ in 10 % Gefälle. Der Abtrag tritt verstärkt in Erscheinung (Mergelrendzina).
	135	0-15	Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (lT), schwach durchwurzelt, Polyederstruktur.
	134	15-	Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (lT).
II,2 E ₃			Unterhang mit 10 % Gefälle, Abstand 52 m. Die Abtragungsvorgänge gehen hier allmählich in Aufschüttung über. Das Profil ist von Zwischenablagerungen beeinflusst. Die Tendenz zur Bodenbildung vom Typ der Mergelrendzina ist die gleiche.
	135	0-15	Brauner (10 YR 4/3), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). Gut durchwurzelt, polyedrische Struktur.
	136	15-	Dunkelgräulichbrauner (10 YR 4/2), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL).

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
II,2 E ₄			Hangfuß mit auslaufendem Gefälle 6 - 2 %. Ablagerung und Aufschüttung von Boden der oberen Hangteile (Mer- gelrendzina).
	137	0-15	Brauner (10 YR 5/4), humusarmer, schwach kalkhaltiger, lehmiger Ton (1 T), schwach durchwurzelt.
	138	15-	Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, schwach kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T).

Das Profil II,3

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
II,3 E ₁			Ebene Lage, Ackerland, Getreidestop- pel geschält, steinfrei, keine Profil- differenzierung durch Horizonte oder durch die Farbe erkennbar (Brauner humusarmer Karbonatboden).
	161	0-20	Brauner (7,5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, sandiger Lehm (sL). Polyederstruktur, wenige Wurzel- reste.
	162	20-40	Brauner (7,5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (tL). Polyederstruktur mit geringer Aggre- gatstabilität.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
	163	40-60	Brauner (7,5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Dicht gelagert, polyedrische Struktur, geringe Aggregatstabilität.
	164	60-80	Brauner (7,5 YR 4/4), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Stark verfestigt, Polyederstruktur, geringe Aggregatstabilität.

Tabelle 4: Profilreihe II

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	Tiefe in cm	Ton	Schluff	Feinsand	Mittel- + Grobsand
			<0,002 mm	0,002-0,06 mm	0,06-0,2 mm	0,2-2,0 mm
			in % des Feinbodens			
II,1 E ₁	12a	0- 10	28,1	49,4	15,1	7,4
II,1 E ₂	14a	0- 10	25,4	47,5	17,5	10,0
	13a	10- 30	33,8	44,8	14,6	6,8
II,1 E ₃	41	0- 20	27,5	49,3	15,4	7,8
	42	20- 40	29,2	48,6	14,8	7,4
II,1 E ₄	15a	0- 20	26,2	46,5	20,8	6,8
	17a	20- 40	27,2	44,9	20,9	7,0
	19a	40- 60	29,1	45,9	16,9	7,1
II,1 E ₅	35	0- 20	33,8	48,5	12,3	5,4
	36	20- 40	36,2	46,8	11,7	5,3
	37	40- 70	37,1	31,7	16,9	14,3
	38	70-100	38,9	33,0	14,8	13,3
	39	100-150	37,4	31,9	16,4	14,3
	40	150-200	30,6	29,9	20,9	18,6
II,1 E ₇	22a	0- 22	37,0	46,2	13,0	3,8
	23a	22- 60	39,2	51,7	5,5	3,6
II,1 E ₆	20a	0- 18	50,0	34,2	8,5	7,3
	21a	18- 50	44,2	40,5	8,6	6,7
II,2 E ₁	131	0- 15	49,4	29,1	19,9	1,6
	132	15-	43,5	28,8	23,4	4,3
II,2 E ₂	133	0- 15	45,5	29,0	23,5	2,0
	134	15-	45,0	29,6	23,2	2,2
II,2 E ₃	135	0- 15	42,1	31,3	25,9	1,7
	136	15-	42,8	30,5	25,1	1,6
II,2 E ₄	137	0- 15	61,0	30,2	7,5	1,3
	138	15-	50,0	30,5	18,3	1,2
II,3 E ₁	161	0- 20	18,5	24,2	33,5	23,8
	162	20- 40	39,3	34,5	18,9	7,3
	163	40- 60	44,0	36,0	15,0	5,0
	164	60- 80	47,8	34,8	13,2	4,2

Tabelle 5: Profilreihe II

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	P ₂ O ₅ mg/100g Boden	K ₂ O mg/100g Boden	CaCO ₃ %	Org. Substanz %
II,1 E ₁	12a	4,6	14,0	60,6	2,9
II,1 E ₂	14a	5,0	23,3	18,5	2,3
	13a	3,5	42,6	17,6	1,1
II,1 E ₃	41	13,6	97,0	25,0	3,3
	42	12,2	50,0	24,6	2,8
II,1 E ₄	15a	13,7	35,3	23,5	1,2
	17a	7,7	28,3	24,8	0,9
	19a	7,3	22,3	31,1	1,0
II,1 E ₅	35	9,0	46,0	25,8	2,7
	36	4,6	25,2	27,1	1,8
	37	18,0	29,8	6,4	1,9
	38	10,8	25,2	11,4	1,8
	39	18,8	25,2	8,9	1,8
	40	6,8	15,0	22,9	0,8
II,1 E ₇	22a	2,3	14,0	53,8	2,1
	23a	4,3	6,7	67,6	1,6
II,1 E ₆	20a	4,0	55,3	43,7	3,1
	21a	2,7	28,3	43,7	2,5
II,2 E ₁	131	29,4	41,0	1,9	1,5
	132	12,2	25,8	7,0	1,4
II,2 E ₂	133	19,0	36,0	5,6	1,8
	134	17,2	28,2	6,0	1,9
II,2 E ₃	135	14,4	34,1	4,5	2,2
	136	10,6	23,8	4,7	1,6
II,2 E ₄	137	24,1	44,0	1,9	1,7
	138	14,6	35,0	1,9	1,4
II,3 E ₁	161	10,6	29,4	17,8	1,4
	162	4,8	23,8	19,0	1,3
	163	4,2	19,6	20,8	0,9
	164	3,6	17,6	21,2	1,1

Tabelle 6: Profilreihe II

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	pH H ₂ O	pH KCl	Austausch- kapazität mval/100 g Boden	Kapillare Wasseraufstiegs- geschwindigkeit ml H ₂ O Minuten ml/min.		
II,1 E ₁	12a	8,3	7,8	14,78	10,9	88	0,12
II,1 E ₂	14a	8,2	7,6	13,32	8,4	24	0,35
	13a	8,3	7,7	14,56	10,2	13	0,78
II,1 E ₃	41	8,4	7,3	16,90	9,5	28	0,34
	42	8,4	7,3	17,10	10,5	14	0,75
II,1 E ₄	15a	8,3	7,7	11,22	8,6	12	0,71
	17a	8,2	7,7	11,47	9,2	10	0,92
	19a	8,2	7,6	11,42	9,9	11	0,90
II,1 E ₅	35	8,6	7,8	14,80	9,7	76	0,13
	36	9,0	7,8	13,45	9,8	84	0,17
	37	8,4	7,8	18,07	8,2	71	0,12
	38	8,5	7,3	16,35	10,0	32	0,31
	39	7,8	7,3	17,91	9,5	17	0,56
	40	7,6	7,4	10,07	8,6	12	0,71
II,1 E ₇	22a	8,1	7,5	19,91	9,4	42	0,22
	23a	8,5	7,7	14,71	10,1	75	0,34
II,1 E ₆	20a	8,1	7,4	23,20	9,5	43	0,22
	21a	8,1	7,4	23,92	9,8	31	0,32
II,2 E ₁	131	8,1	6,9	24,37	9,0	210	0,04
	132	8,3	7,0	25,79	10,6	210	0,05
II,2 E ₂	133	8,1	7,0	25,06	9,4	96	0,09
	134	8,5	7,2	25,57	9,7	301	0,03
II,2 E ₃	135	8,3	7,1	25,10	8,7	176	0,05
	136	8,6	7,2	25,46	10,5	131	0,08
II,2 E ₄	137	7,7	7,0	25,76	10,2	592	0,02
	138	8,4	7,0	25,51	9,6	1048	0,009
II,3 E ₁	161	8,5	7,7	9,36	9,7	29	0,33
	162	8,6	7,6	15,14	8,7	160	0,05
	163	8,5	7,6	16,97	8,9	222	0,04
	164	8,7	7,6	17,58	6,3	453	0,01

Die Profilreihe II,1

Der Boden des Höhenprofils ist infolge Bodenverlagerung zum Hang an Phosphor und Kali verarmt. Die Reste an unverwittertem Material bedingen den hohen Ca-Gehalt des Bodens ($60,6\%$ CaCO_3). Die Verlagerung kommt sehr deutlich in der Verteilung der Phosphorsäure zum Ausdruck, die vor allem in der Aufschüttung (II,1 E₅) bis 2 m Tiefe hohe Werte aufweist (6,8 mg). Dies wird gleichzeitig durch die Anreicherung der organischen Substanz in diesen Tiefen bestätigt. Beide Substanzen sind mit Tonteilchen verlagert worden, da auch der Tongehalt deutlich erhöht ist und auf den Hangböden als Zwischenablagerung zu erkennen ist.

Bei der Ackerfläche II,1 E₃ handelt es sich um gut bewirtschaftetes Land, auf dem sowohl eine mineralische als auch organische Düngung erfolgt. Damit ergibt sich die beste Möglichkeit, die Nährstoffe als Indikatoren der Bodenbewegung heranzuziehen.

Es fällt vor allem auf, daß die organische Substanz unter Ackernutzung höher ist als bei der darüberliegenden Weidefläche (3,3 % gegenüber 2,3 %). Der Bodenverlust auf der Weidefläche am Oberhang ist auf die spärliche Grasnarbe zurückzuführen.

Der Anteil der abschlämmbaren Teile geht im Oberboden der II,1 E₄ leicht zurück, um mit steigender Tiefe wieder auf den gleichen Wert wie beim Unterhang (II,1 E₃) zu kommen.

Die Aufschüttung II,1 E₅ ist durch die Erhöhung des Tongehaltes gekennzeichnet. Mit der Tiefe nimmt der Schluffgehalt ab, während der Grobsandgehalt in der Schicht 40 - 70 cm stark ansteigt. Der Wechsel des Tongehaltes in 70 cm Tiefe, der auch bei den anderen Kennwerten festzustellen ist, deutet auf zwei verschiedene Aufschüttungen hin, die sich durch Wechsel von kolluvialer Anschüttung vom Hang her und von Flußablagerung bei Überflutung ergeben.

Das Oberhangprofil II,1 E₇ auf der nördlichen Seite des Flusses hat einen hohen Anteil an abschlämbaren Teilen (83 % Ton und Schluff), der zum großen Teil durch das Ausgangsmaterial bedingt ist. Dieses Vorhandensein von unverwittertem Mergel zeigt sich auch in dem hohen Kalkgehalt von über 50 % im Oberboden. Der niedrige Wert für P₂O₅ im Oberboden ist durch die Ackernutzung ohne Düngung bedingt, da im Unterboden ein höherer Wert ermittelt wurde (2,3 mg und 4,3 mg P₂O₅/100 g Boden).

Am Unterhang (II,1 E₆) zeigt die Korngrößenverteilung ein starkes Ansteigen des Tongehaltes, während der Schluffgehalt zurückgeht. Phosphor- und Kaligehalt sind höher als beim Oberhangprofil. Auch der hohe Karbonatgehalt zeigt, daß rohes Unterbodenmaterial vom Hang verlagert worden ist.

Die Profilreihe II,2

Der Oberboden des Oberhangprofils (II,2 E₁) ist geringmächtig und hat fast 50 % Ton. Der kleine Anteil von Grobsand ist auf das Ausgangsmaterial zurückzuführen, das neben geringem CaCO₃-Anteil noch silikatische Anteile hat. Beim Mittelhang (II,2 E₂) liegt der Tongehalt etwas niedriger, da hier ein stärkerer Abtrag vorliegt, was auch in einem höheren Karbonatgehalt zum Ausdruck kommt.

In der Aufschüttung (II,2 E₄) ist der Tongehalt im Oberboden um 10 % erhöht im Vergleich zum Oberboden des Oberhangprofils; der Unterboden hat ebenfalls noch einen höheren Gehalt an Ton als der Oberboden am Oberhang. Auch der Schluffgehalt zeigt mit einer geringen Erhöhung die Verlagerungsvorgänge an.

Der CaCO₃-Gehalt ist in Ober- und Unterboden gleich und ebenfalls gleich mit dem Oberboden des Oberhangs (1,9 % CaCO₃).

P₂O₅ und K₂O sind gegenüber den Hangprofilen erhöht, der Ausgangswert für P₂O₅ am Oberhang wird aber nicht erreicht.

Das Kali dagegen ist in der Aufschüttung deutlich angereichert.

Auch die organische Substanz zeigt eine leichte Erhöhung gegenüber dem Hangprofil. Am Hang sind aber zum Teil infolge Zwischenablagerung die Humuswerte geringfügig höher.

Die Profilreihe II,3

Das Profil II,3 in der Ebene von Goubellat ist ein Beispiel für die Entstehung des Bodens auf umgelagertem Verwitterungs- und Bodenmaterial. Die Kornverteilung ist von 20 - 80 cm relativ einheitlich. Auch die Nährstoffe wechseln bis zu dieser Tiefe nicht auffallend. Die Werte zeigen, daß der Boden infolge Anlagerung durch Wind und Wasser entstanden ist. Der in Ackernutzung befindliche Oberboden wird durch Winderosion beeinflußt und läßt in der Kornverteilung die Ausblasung von Ton und Schluff erkennen. Andererseits ist durch die Düngung P_2O_5 und K_2O erhöht. Der $CaCO_3$ -Gehalt und die organische Substanz entsprechen der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials. Der Boden ist noch als azonale Bildung anzusprechen und hat noch keine Profildifferenzierung. Seine Entwicklung tendiert zu einem Braunen humusarmen Karbonatboden.

Die Profilreihe III

Die Profilreihe III wurde an der Straße von Tunis nach Medjez el Bab an einem Hang mit mittlerem Gefälle (8 - 15 %) gelegt. Es wurden 4 Profile von der Höhe zur Aufschüttung analysiert. Die Hangfläche wird als Weide genutzt und besitzt eine ziemlich dichte Vegetation von Gräsern und Blattpflanzen.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

III E₁

Oberhang mit 19 % Gefälle, Steinauflage ca. 40 %, Steingehalt des Bodens 30 %. Flachgründiger erodierter Boden mit stetigem Abtrag (Braune Rendzina).

25	0-12	Sehr dunkelbrauner (10 YR 2/2), stark humoser, mullrendzinaartiger, kalkhaltiger, sandig-schluffiger Lehm (suL). Sehr gut durchwurzelt und gekrümelt. Im Untergrund steht fester Kalk an. (Siehe Abb. 2 und 3)
----	------	---

III E₂

Mittelhang mit 12 % Gefälle. Am Mittelhang stehen mergelige Schichten an. Die Erosion hat den Oberboden stark beeinflusst und in seiner Mächtigkeit verringert. (Brauner humusarmer Karbonatboden).

26	0-10	Brauner (10 YR 5/3), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Gute Krümelstruktur und gut durchwurzelt.
27	10-40	Hell-gelblichbrauner (10 YR 6/4), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t'L). Noch gut gekrümelt und durchwurzelt, die Aggregatstabilität ist mittel.
28	40-70	Gelber (10 YR 8/3), humusarmer, kalkhaltiger, toniger Lehm (t L), der in den anstehenden Mergel übergeht.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm
---------------------	--------------	----------------

III E₃

Unterhang, beginnende Aufschüttung bei 4 ‰ Gefälle (Brauner humusarmer Karbonatboden).

- | | | |
|----|--------|---|
| 29 | 0-20 | Gelblichbrauner (10 YR 5/4), schwach humoser, kalkhaltiger, toniger Lehm (t L). Mittlere Durchwurzelung und gute Krümelstruktur mit guter Aggregatstabilität. |
| 30 | 20-50 | Gelblichbrauner (10 YR 5/4), schwach humoser, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Mittlere Aggregatstabilität und Durchwurzelung. |
| 31 | 50-100 | Fahlbrauner (10 YR 6/3), schwach humoser, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T) auf Mergel. |

III E₄

Auslaufender Hang mit 2 ‰ Neigung, starke Aufschüttung. (Entwicklung zum Braunen humusarmen Karbonatboden).

- | | | |
|----|--------|---|
| 32 | 0-20 | Brauner (10 YR 4/3), schwach humoser, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Gut durchwurzelt und gekrümelt, hohe Aggregatstabilität. |
| 33 | 20-40 | Brauner (10 YR 4/3), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Polyederstruktur und geringe Aggregatstabilität. |
| 34 | 40-100 | Gelblichbrauner (10 YR 5/4), humusarmer, kalkhaltiger, lehmiger Ton (1T). Pulverig gekrümelt, leicht zerreibbar. |

Die Profilreihe IV

Die Profilreihe IV wurde auf einem schwach geneigten Hang westlich von Tebourba auf einer kalkhaltigen Terra rossa gelegt. Die Nutzung erfolgt durch Mandeln und Wein, die in wechselnden Reihen angelegt sind. Die Bodenoberfläche wird dauernd offen gehalten.

Es wurden 5 Profile im Abstand von 100 Metern und 4 % Gefälle, das 6. Profil im Abstand von 230 Metern und 2,5 % Gefälle aufgegeben.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
IV E ₁	43	0-15	Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Kalkschutt auf der Oberfläche 15 %.
	44	15-60	Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (t L). In 60 cm Tiefe befindet sich eine Kalkkruste, die gebrochen wurde.
IV E ₂	45	0-15	Dunkelroter (2,5 YR 3/6), schwach humoser, lehmiger Ton (1T). Kalk- schutt 20 %.
	46	15-65	Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, lehmiger Ton (1T). Feste Kalkkruste in 65 cm Tiefe vorhanden.
IV E ₃	47	0-15	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Kalkschutt 20 %.
	48	15-105	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/3), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Feste Kalkkruste in 105 cm Tiefe.

Entnahme- stelle	Probe Nr.	Tiefe in cm	
IV E ₄	49	0-15	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (tL). Starke Überrollung mit Kalkschutt 40 %.
	50	15-60	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Weiche Kalke und Mergel in 60 cm Tiefe.
IV E ₅	51	0-15	Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Kalkschutt 10 %.
	52	15-35	Dunkelrötlichbrauner (2,5 YR 3/4), schwach humoser, lehmiger Ton (1T). Kalkmergel in 35 cm Tiefe.
IV E ₆	53	0-15	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Kalkschutt 10 %.
	54	15-50	Dunkelrötlichbrauner (5 YR 3/4), schwach humoser, toniger Lehm (t L). Gebrochene Kalkkruste in 50 cm Tiefe.

Alle Böden besitzen eine gute Krümelstruktur und eine hohe Aggregatstabilität. Beides wird durch die Verkittung und Umhüllung der Bodenteilchen durch Eisenoxide erreicht. Die Grenze des Oberbodens bei 15 cm ergab sich durch die Bearbeitungstiefe. An der Bearbeitungsgrenze konnte eine leichte Verdichtung festgestellt werden.

Tabelle 7: Profilreihe III

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	Tiefe	Ton	Schluff	Feinsand	Mittel- + Grobsand
			< 0,002 mm	0,002-0,06 mm in % des Feinbodens	0,06-0,2 mm	0,2-2,0 mm
III E ₁	25	0- 12	21,0	43,6	18,4	17,0
III E ₂	26	0- 10	28,8	48,4	11,8	11,0
	27	10- 40	36,6	44,8	8,6	9,0
	28	40- 70	40,6	45,9	7,1	6,4
III E ₃	29	0- 20	38,4	44,4	10,7	6,5
	30	20- 50	49,0	37,8	9,3	3,9
	31	50-100	52,2	37,2	7,3	3,3
III E ₄	32	0- 20	49,2	34,1	11,6	5,1
	33	20- 40	51,5	36,8	7,8	3,9
	34	40-100	53,9	35,4	6,5	4,2

Tabelle 8: Profilreihe IV

IV E ₁	43	0- 15	41,3	33,7	13,0	12,0
	44	15- 35	40,3	37,5	12,6	9,6
IV E ₂	45	0- 15	46,1	35,4	11,8	6,7
	46	15- 65	48,4	32,8	12,1	6,7
IV E ₃	47	0- 15	40,4	37,9	13,4	8,3
	48	15-105	42,4	37,0	14,4	6,2
IV E ₄	49	0- 15	39,8	36,4	13,4	10,4
	50	15- 60	39,4	35,8	13,9	10,9
IV E ₅	51	0- 15	41,7	36,1	13,0	9,2
	52	15- 35	44,5	33,7	13,7	8,1
IV E ₆	53	0- 15	42,6	35,6	16,0	5,8
	54	15- 50	42,8	35,1	16,6	5,5

Tabelle 9: Profilreihe III

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	P ₂ O ₅ mg/100g Boden	K ₂ O mg/100g Boden	CaCO ₃ %	Org. Substanz %
III E ₁	25	6,6	42,2	23,5	11,5
III E ₂	26	9,4	33,4	56,3	4,6
	27	2,8	15,4	69,3	2,0
	28	1,6	13,2	68,4	1,1
III E ₃	29	10,4	34,2	49,5	3,5
	30	1,2	19,4	50,0	2,4
	31	1,6	15,0	49,5	2,1
III E ₄	32	5,4	45,4	40,3	2,6
	33	1,6	27,0	38,1	1,8
	34	1,0	26,4	38,1	1,5

Tabelle 10: Profilreihe IV

IV E ₁	43	23,0	63,0	29,2	2,6
	44	4,2	46,0	23,6	2,6
IV E ₂	45	6,0	85,5	15,7	2,8
	46	6,0	85,5	16,5	2,4
IV E ₃	47	8,2	97,0	19,5	3,3
	48	8,8	84,0	17,4	3,0
IV E ₄	49	8,2	94,0	28,0	3,1
	50	8,6	83,0	31,6	2,6
IV E ₅	51	10,2	85,5	21,7	3,1
	52	8,2	80,5	22,1	3,6
IV E ₆	53	8,2	103,0	13,0	3,6
	54	10,6	103,0	12,7	3,7

Tabelle 11: Profilreihe III

Ent- nahme- stelle Nr.	Probe Nr.	pH	pH	Austausch- kapazität mval/100 g Boden	Kapillare Wasseraufstiegs- geschwindigkeit		
		H ₂ O	KCl		ml H ₂ O	Minuten	ml/min.
III E ₁	25	8,3	7,4	24,86	13,4	73	0,18
III E ₂	26	8,5	7,6	21,53	10,1	92	0,11
	27	8,7	7,7	17,86	11,8	101	0,11
	28	9,4	8,0	16,32	10,4	166	0,06
III E ₃	29	8,8	7,7	23,46	9,8	65	0,15
	30	9,1	7,7	22,38	9,7	187	0,05
	31	9,3	7,8	22,22	10,5	759	0,01
III E ₄	32	8,6	7,6	26,29	10,8	31	0,35
	33	9,2	7,6	25,10	11,5	316	0,03
	34	9,4	7,7	24,60	8,6	848	0,01

Tabelle 12: Profilreihe IV

IV E ₁	43	8,2	7,3	21,19	10,0	15	0,66
	44	8,3	7,2	23,51	10,5	14	0,75
IV E ₂	45	8,2	7,1	24,89	10,3	18	0,57
	46	8,3	7,1	23,20	11,1	13	0,85
IV E ₃	47	8,3	7,2	22,97	10,3	11	0,93
	48	8,2	7,2	24,13	10,6	13	0,81
IV E ₄	49	8,0	7,2	22,37	10,1	16	0,63
	50	8,2	7,2	21,21	10,5	19	0,55
IV E ₅	51	8,1	7,2	23,05	10,2	16	0,64
	52	8,2	7,2	23,36	11,1	12	0,92
IV E ₆	53	8,0	7,2	23,40	10,8	14	0,77
	54	8,1	7,2	23,90	10,8	15	0,72

Die Profilreihe III

Die Bodenproben der Profilreihe III zeigen in ihrer Kornverteilung die Wanderung der Tonteile zum Hangfuß. Der Schluff ist wesentlich an den Zwischenablagerungen am Hang beteiligt, während die Grobsandanteile zum Hangfuß hin eine stetige Abnahme erkennen lassen (von 17,0 % auf 5,1 %). Die beiden Hangprofile (III E₂ und III E₃) haben einen höheren Karbonatgehalt als Oberhang und Senke, da laufend Bodenmaterial abgetragen wird und der karbonatreiche Unterboden an die Oberfläche rückt. Infolgedessen wird in die Aufschüttung karbonatreiches Material verfrachtet, was in dem leicht erhöhten CaCO₃-Gehalt in der Krume zum Ausdruck kommt (40,3 % CaCO₃).

Die Verlagerung an diesem Hang wird von K₂O deutlicher angezeigt als von der P₂O₅ und der organischen Substanz. Da es sich um einen auslaufenden Hang handelt, ist ein Weiterwandern von P₂O₅ und Humus nicht auszuschließen. Das leichter bewegliche K₂O, das auch vertikal verlagert wird, gelangt bis zur Senke und bedingt dort einen höheren Kaligehalt als in den Hangböden (45,4 mg gegenüber 34 mg K₂O). Obwohl Kornverteilung und Kaliverteilung auf Bodenmaterialwanderung schließen lassen, die vor allem auch an der Flachgründigkeit der Oberhangprofile zu erkennen ist, wird zur Zeit die Gefahr einer zu starken Verlagerung durch die dichte Grasvegetation gemildert.

Die Profilreihe IV

Die Böden der Profilreihe IV sind in ihrer Gesamtheit verfrachtet worden und zeigen somit kaum Unterschiede zwischen Ober- und Unterboden in der Korngrößenverteilung. Trotz des geringen Gefälles sind aber auf den Hangflächen kleine Verschiebungen in der Kornverteilung bei Ton und Schluff festzustellen, die auf Zwischenablagerungen schlie-

Ben lassen. Die Verlagerung wird auch in der Verteilung der P_2O_5 , dem K_2O und der organischen Substanz deutlich.

Vor allem geht aus den Phosphorsäurewerten, die auch im Unterboden den Werten des Oberbodens angeglichen sind, die starke Umlagerung auf der ganzen Hangfläche hervor. Die höheren Unterbodenwerte in der Aufschüttung am Hangfuß machen die rezente Bodenverlagerung sehr deutlich. Das Kali zeigt die gleiche Tendenz wie die organische Substanz.

Die umgelagerte Terra rossa ist auf Grund ihrer Struktur und ihrer stabilen Aggregate wenig erosionsgefährdet. Daß trotzdem bei der jetzigen Nutzung Bodenverlagerungen stattfinden, zeigen die Nährstoffwerte. Sie zeigen die Verlagerung deshalb deutlicher als bei den anderen Profilen, weil die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Erosionsvorganges nicht so groß ist und die Nährstoffe nicht gleich bei Starkregen verloren gehen, sondern noch abgelagert werden und über die ganze Hangfläche je nach Transport durch das Tagwasser verteilt sind.

Bei allen Profilreihen konnte festgestellt werden, daß ein mehr oder weniger großer Boden- und Nährstoffverlust von der Höhe zur Senke hin erfolgt.

Je nach der Intensität der Niederschläge werden einzelne Fraktionen oder aber der Gesamtboden verlagert. Hangneigung und Bodennutzung sind Faktoren, die die Starkregeneinwirkung auf den Bodenabtrag entscheidend bestimmen. Bei der Verlagerung am Hang werden zunächst die feinsten Teilchen am weitesten abtransportiert bis zur Aufschüttung oder darüber hinaus, während gröbere Teilchen zunächst unterwegs abgelagert und erst bei höherer Regenintensität weiterverlagert werden.

Auch kleine Unterschiede im Relief können eine Zwischenablagerung hervorrufen, wenn sich das Gefälle verringert. Es kann daher zu einer relativen Anreicherung der gröberen Fraktionen am Hang kommen.

Die Nährstoffe werden mit dem Boden ebenfalls verlagert, jedoch ist die Anreicherung in der Aufschüttung dadurch meist

nicht sichtbar, weil erstens bei der Ackernutzung ein Teil der Nährstoffe entzogen wird, da keine Düngung erfolgt und zweitens ein großer Teil bis in den Vorfluter weitertransportiert wird und damit dem Feld verloren geht.

Auch in größerer Tiefe ist bei den Aufschüttungen noch organische Substanz anzutreffen, wodurch deutlich wird, daß es sich um verlagerten Oberboden handeln muß.

Die untersuchten Profilreihen zeigen, daß die Bodenverlagerung auch unter Grasvegetation erfolgt, da die Bewuchsdichte nicht ausreicht, um einen vollkommenen Erosionsschutz zu gewährleisten.

Es werden allerdings nur kleine Anrisse verursacht, aber in erster Linie ist die Flächenerosion wirksam, bei der Schluff, Ton und Nährstoffe verloren gehen.

Auf den Ackerflächen wird sichtbar, daß laufend Bodenmaterial aller Fraktionen umgelagert wird, sobald das Gefälle ausreichend ist, d.h. über 3 - 4 % hinausgeht, da der kalkreichere Unterboden teilweise schon an die Oberfläche gerückt ist bzw. in die Bearbeitung einbezogen wird.

Auf Grund der Erosionsvorgänge hat sich an den Hängen zu beiden Seiten des Medjerda eine Bodenfolge (Catena) herausgebildet.

Die obersten Glieder sind durch Flachgründigkeit und z.T. auch durch Skelettreichtum gekennzeichnet.

In Richtung Hangfuß nimmt mit den Umlagerungsvorgängen die Mächtigkeit des Oberbodens zu. Die Zunahme erfolgt durch Anschüttung feiner Kornfraktionen, so daß das Kolluvium an den Unterhängen schluff- und tonreicher ist als die Böden an Ober- und Mittelhang.

Diese Erosionsvorgänge, wie sie durch Korn- und Nährstoffanalysen aufgezeichnet werden, sind bedeutungsvoll für den Wasserhaushalt in den beeinflussten Böden. Bedingt durch die Feinerdeanreicherung haben die kolluvialen Böden an den Unterhängen eine bessere Wasserhaltung. Infolgedessen findet man hier die ackerbauliche Nutzung, während die Oberhänge mit schlechtem Wasserhaushalt auf Grund der Erosionswirkung als Weideland dienen.

6.3 Erläuterung zur Erosionskarte

Um einen Überblick über das Ausmaß der bereits eingetretenen Schäden zu bekommen, wurde mit Hilfe von Beobachtungen im Gelände und Luftbildern eine Schadenskartierung durchgeführt. Die Analysen der einzelnen Glieder der Profilreihen geben gute Aufschlüsse über das Ausmaß der bereits eingetretenen Schäden.

Dabei wurden die Flächen in 4 Gruppen mit keinen, leichten, mittleren und schweren Schäden eingeteilt:

Gruppe 1 enthält die ebenen Flächen der Flußaufschüttung und die auslaufenden Hänge, bei denen keine oder nur geringe Schäden durch Überschüttung festzustellen sind.

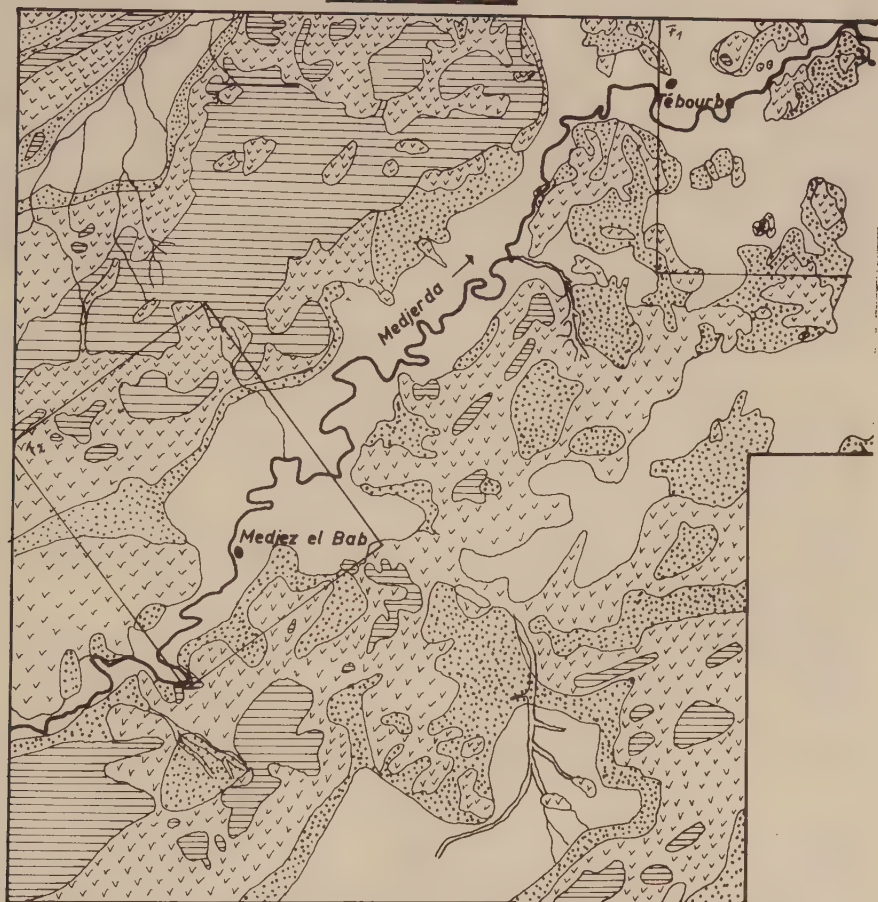
In Gruppe 2 sind die Flächen der leicht geneigten Hänge enthalten, die Schichterrosion (Abtrag und Aufschüttung) und leichte Anrisse aufweisen, die jedoch mit ackerbaulichen Maßnahmen zu beseitigen und zu vermeiden sind.

Flächen mit Gully-Erosion und Hangflächen, bei denen der Untergrund bereits stellenweise an die Oberfläche rückt, wurden in Gruppe 3 zusammengefaßt, da sie nur mit landtechnischen Maßnahmen zu beheben sind.

Felsflächen, Badlands und großflächige Bloßlegung des Untergrunds sind zusammen in Gruppe 4. Diese Flächen sind für die landwirtschaftliche Nutzung nur sehr schwierig oder überhaupt nicht mehr zu verwenden.

Siehe Karten 4, 5 und 6.

Karte 5 und 6 sind Ausschnittvergrößerungen der Karte 4. Die ausgewählten Flächen sind in Karte 4 eingezeichnet.



Ebene Lagen und Aufschüttungen



Hanglagen mit Flächenerosion



Hanglagen mit fortgeschrittener Erosion und Gully-Erosion



Steillagen mit fast vollständigem Abtrag

Maßstab 0 ————— 10 km

Djedeida

Tébourba

Medjerda

 Ebene Lagen und Aufschüttungen

 Hanglagen mit fortgeschrittener Erosion
und Gully-Erosion

 Hanglagen mit Flächenerosion

 Steillagen mit fast vollständigem Abtrag
Maßstab 0  3 km



6.4 Erläuterungen zur Gefahrenstufenkarte

In den USA entwickelten WISCHMEIER und SMITH (1962) eine Bodenverlustgleichung. Abfluß und Bodenverlust wurden unter unterschiedlichen Hangneigungen, Nutzungsarten, Niederschlägen und Böden an 47 Stationen in 24 Staaten ermittelt. Nach diesen Werten kann für jedes Feld der zu erwartende Bodenverlust bei verschiedenen Anbaumethoden und Fruchtfolgen errechnet und die richtige Kombination gewählt werden, bei der der Bodenverlust minimal bleibt.

Solche Unterlagen sind aber in anderen Ländern noch nicht vorhanden, und die amerikanischen Ergebnisse sind nicht übertragbar, so daß die Faktoren geschätzt werden müssen.

Wenn die verschiedenen Faktoren (Geländeform, Neigung, Vegetation, Starkregenhäufigkeit u.a.m.), die die Erosion auslösen, berücksichtigt und gegeneinander abgewogen werden, kann der zu erwartende Schaden durch Bodenerosion durch die Gefahrenstufenkarte erfaßt werden.

Je mehr Faktoren für die Karte herangezogen werden, um so genauer wird die Aussage, jedoch steigt damit der Arbeitsaufwand beträchtlich an, da für jedes Feld oder jede Fläche eine Untersuchung nötig wäre. Deshalb ist es zweckmäßiger, die Gefahrenstufenkartierung als Übersichtskartierung aufzufassen und von ausgewählten Flächen auf das benachbarte Gelände zu schließen und für Detailfragen Einzeluntersuchungen durchzuführen.

Eine wertvolle Hilfe bietet die Auswertung von Luftbildern, da die Haupteinteilung nach dem Gefälle nicht ausreicht, besonders wenn es stark wechselt. Es besteht leicht die Gefahr, daß diese Flächen zu günstig beurteilt werden.

Es wurden für die beiden Teilgebiete Tebourba und Medjez el Bab Luftbilder im Maßstab 1 : 12 500 herangezogen und in die topographische Karte 1 : 50 000 eingezeichnet. Die Aussage der Luftbilder wurde durch die Feldbeobachtung überprüft.

Die Auswertung der Ergebnisse, die die Analysen der Einzelprofile innerhalb der Profilreihen erbrachte, ermöglichte es, die einzelnen Hangflächen in die richtige Gefahrenstufe einzuordnen.

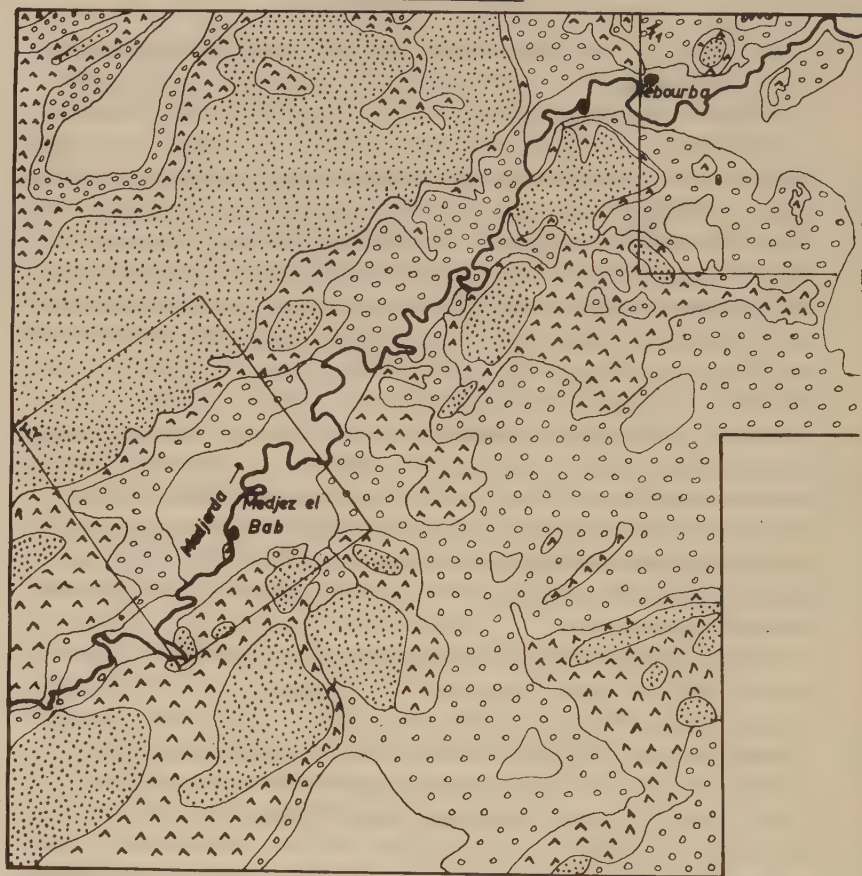
Diese Untersuchung zeigt die Profilveränderung auf, die durch die rezente Bodenverlagerung verursacht wird.

Profilvergleiche innerhalb der Reihen in Verbindung mit der Beurteilung der wichtigsten Erosionsfaktoren, wie Hangform, Hangneigung, Vegetation und Bodeneigenschaften, sowie regionale Regenverteilung erlauben die Einstufung der Geländeteile in einzelne Gefahrenstufen.

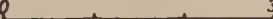
Bodenanalysen, Luftbildauswertung und Feldbeobachtung ermöglichen eine Klassifizierung der Flächen in mehr oder minder gefährdete Stufen. Für jede so eingestufte Fläche sind besondere Schutzmaßnahmen erforderlich, um die Bodenerosion herabzusetzen oder zu verhindern. Deshalb sind bei jeder Gefahrenstufe gleichzeitig die zu ergreifenden Bekämpfungsmaßnahmen angegeben.

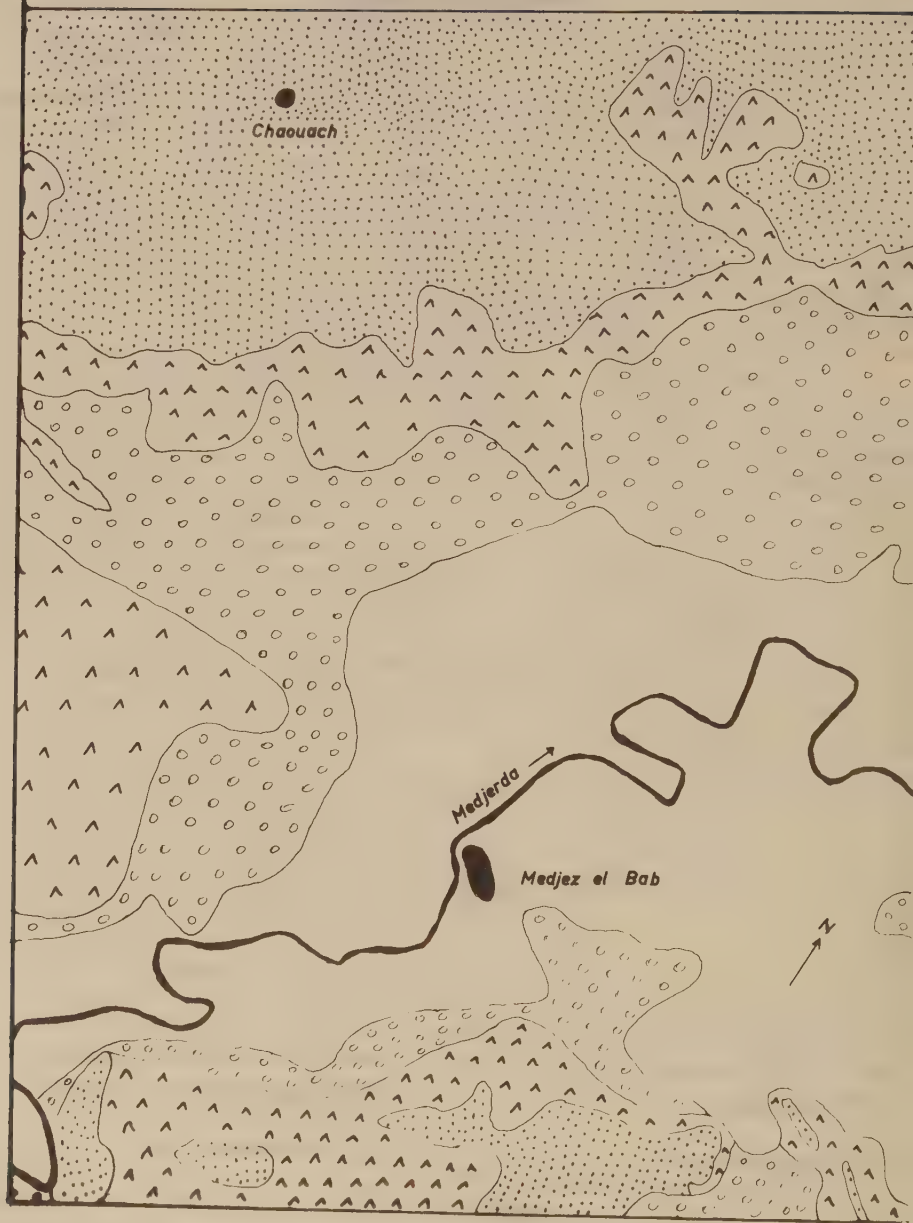
Die Einteilung in Gefahrenstufen erfolgt daher in folgender Weise:

- Gefahrenstufe I: Keine oder nur geringe Erosionsgefahr durch Wasser. Bodenschutz nicht oder nur in geringem Umfang erforderlich.
- Gefahrenstufe II: Mäßige Erosionsgefahr. Einbau schützender Kulturarten in die Fruchtfolge, Getreidestoppeln 30 cm hoch stehen lassen, pflügen in der Kontur, eventuell Streifenbau.
- Gefahrenstufe III: Starke Erosionsgefahr. Dauerfutterflächen, nur in dringenden Fällen Ackerland, wobei neben den für II angegebenen Maßnahmen Konturfurchen und Streifenbau anzulegen sind. Im stärkeren Gefälle kommt Terrassierung in Frage.



Maßstab 0  10 km

 Gefahrenstufe I. Gefahrenstufe III. Gefahrenstufe II. Gefahrenstufe IV.Maßstab 0  3 km



Gefahrenstufe IV: Sehr starke Erosionsgefahr. Grünlandanlage und in günstigen Lagen Aufforstung.

Siehe Karten 7, 8 und 9.

Karte 8 und 9 sind Ausschnittvergrößerungen der Karte 7. Es handelt sich bei diesen Flächen um landwirtschaftlich interessante Gebiete um Tebourba und Medjez el Bab.

6.5 Die Beeinflussung der Bodenbildung durch die Bodenerosion und die Erodierbarkeit der Hangböden.

Die Auswertung der Feldarbeiten und Bodenanalysen der Profilerien geben neben der Einstufung der Hangflächen in einzelne Gefahrenstufen auch die Möglichkeit, den Einfluß der Erosionsvorgänge auf die Bodenbildung zu verfolgen und erlauben darüber hinaus eine Aussage über die Erodierbarkeit der betroffenen Böden.

Wie bereits erwähnt, kommt es an den Hängen nicht zur Ausbildung bzw. vollen Reife des zu erwartenden Bodentyps, da Abtrag und Aufschüttung und z.T. auch Ausblasung dies verhindern.

So sind die zu erwartenden Humuskarbonatböden an den Ober- und Mittelhangflächen je nach Ausbildung des Reliefs als Proto-Rendzinen zu bezeichnen, da das Profil durch die Abtragungsvorgänge laufend verkürzt wird und die Mächtigkeit des A-Horizontes nicht über 12 cm hinausgeht. Infolge Wegführung des Feinbodens kommt es zu einer relativen Anreicherung von Kalksteinen im Oberboden und an der Bodenoberfläche, die durchschnittlich 30 - 40 % beträgt und sogar bis 50 % anwachsen kann (II,1 E₁). Nach erfolgtem Abtrag des Feinbodens und weiterer Vermehrung der Steinauflage, kann diese dann abtragshemmend wirken, indem die Prallwirkung der Regen-

tropfen weitgehend von den Steinen abgefangen wird (JUNG 1960). Diese Steinauflage zeigt andererseits die Flachgründigkeit an, ist aber auch die Quelle für die starke Ca-Nachlieferung im Oberboden, wie die hohen CaCO_3 -Werte zeigen ($\text{I E}_1 = 6,4 \%$, $\text{III E}_1 = 23,5 \%$, $\text{III E}_2 = 56,3 \%$). Die Verwitterungsintensität des Ausgangsmaterials ist infolgedessen abgeschwächt. Dies gilt gleichermaßen für die Unterhangböden, auf die das Ca-reiche Solum verlagert wird ($\text{III E}_4 = 40,3 \%$). Alle Profilreihen zeigen gleichfalls eine bevorzugte Verlagerung von Ton und Schluff (Tab. 1, 4 und 7), wobei der Schluff oft ganz von der Fläche verschwindet, wenn eine offene Senke den Transport bis zum Vorfluter zuläßt. Den Oberhangböden gehen aber die Feinbodenanteile verloren. Mit ihnen auch die bereits sich bildenden Tonminerale, die neben ihrer Sorptionskraft mitbestimmend für den Wasserhaushalt der Böden sind.

Das Wasserspeichungsvermögen hängt außerdem eng mit dem Gehalt an organischer Substanz zusammen. Wenn diese wie auch andere Nährstoffe (Tab. 2, 5, 9 und 10) dem Boden durch Erosionsvorgänge verlorengehen, leidet das Pflanzenwachstum. Die Vegetation ist spärlich und deckt nur teilweise die Bodenoberfläche. Damit ist der Boden noch stärker dem Abtrag ausgesetzt und die Bodenentwicklung wird gestört. Die gewonnenen Daten lassen erkennen, daß das in Entwicklung befindliche Verwitterungsmaterial auf Kalkstein stark dem Abtrag unterliegt und somit im Vergleich mit den anderen in Entwicklung begriffenen Böden eine mittlere Erodierbarkeit zeigt.

Die den Vertisolen nahestehenden mergelrendzinaartigen Bodenformen sind in ihrer Entwicklung wesentlich weiter fortgeschritten und mit mächtigeren A-Horizonten ausgestattet, die sich durch einen hohen Tongehalt auszeichnen ($49,4 - 61,0 \%$). An Tonmineralen herrscht der Montmorillonit vor. Durch den hohen Tongehalt bedingt, ist die Bindigkeit des Bodens so groß, daß nur intensive Starkregen einen Abtrag auslösen.

Der infolgedessen etwas verstärkte Oberflächenabfluß führt nur zu geringen Verlagerungen. Zum Teil kann aber dieses Oberflächenwasser in den sich nach längerer Trockenperiode bildenden Trockenrissen versickern.

Die Böden sind typologisch als Mergelrendzinen anzusprechen und als Böden mit mäßiger Erodierbarkeit zu bezeichnen.

Die umgelagerte Terra rossa (Profilreihe IV) ist sowohl auf Grund ihrer jetzigen Lage an den Unterhängen und Senken als auch wegen ihrer stabilen Struktur der gegen die Bodenerosion widerstandsfähigste Boden des untersuchten Gebietes. Die durch Eisenoxide hervorgerufene feste Verkittung der tonigen Aggregate bedingt im Verein mit der im Zuge der Bewirtschaftung als Ackerland erfolgenden dauernden Bodenbearbeitung ein gutes Einsickerungsvermögen der Niederschläge, deren nicht versickerbarer Anteil infolge des geringen Gefälles an den Unterhängen keine Abtragswirkung hat (Siehe Kap. 5.3). Die von den Oberhangflächen abströmenden kalkhaltigen Tagwässer scheinen von diesem Boden ohne oder mit nur geringer Schädigung aufgenommen zu werden und tragen zur weiteren Ca-Anreicherung der ursprünglich kalkfreien Terra rossa bei. Bei ihrer Umlagerung an diese Unterhänge wurde bereits CaCO_3 mit eingemischt. Interessant sind die hohen P_2O_5 -Werte in den Unterböden der Profile bis zu 60 cm Tiefe, die sich den Oberbodenwerten angleichen und teilweise diese sogar übersteigen (IV E₆). Gleiche Ergebnisse zeigt die organische Substanz und auch K_2O (Tab. 10).

Diese Nährstoffverteilung auf diesem Boden bestätigt die stattgefundene Umlagerung. Andererseits zeigen aber auch die Oberbodenwerte die rezenten Verlagerungsvorgänge an, die aber bei weitem nicht das Ausmaß erreichen wie auf den bereits beschriebenen Böden. Dies läßt sich aus den Werten der Kornanalyse ablesen, die keine großen Verschiebungen an der Bodenoberfläche zeigen, die aber insgesamt gesehen in Ober- und Unterboden recht einheitlich sind und auf gute Durchmischung schließen lassen und damit die frühere Umla-

gerung bestätigen (Tab. 8).

Die Erodierbarkeit dieser kalkhaltigen Terra rossa in ihrer heutigen Lage und Ausbildung ist als gering zu bezeichnen.

Der Braune humusarme Karbonatboden ist im Untersuchungsgebiet sowohl an den Hängen als auch als Kolluvium zu finden. Er baut sich aus jungem umgelagerten Material verschiedener geologischer Herkunft und Bodenmaterial verschiedenen Alters auf und zeigt nicht zuletzt auf Grund des hohen CaCO_3 -Gehaltes (25 %) keine Profildifferenzierung.

Dieser als azonale Bodenbildung zu bezeichnende Boden hat zwar einen relativ hohen Tonanteil (26 - 29 %), dem aber ein hoher Schluffgehalt gegenübersteht, verbunden mit einem geringen Gehalt an organischer Substanz. Der Feinsandgehalt erhöht die durch den hohen Schluffanteil gegebene leichte Erodierbarkeit, so daß, wie alle Untersuchungsergebnisse und Feldbeobachtungen zeigen, dieses Bodenmaterial sich in dauernder Umlagerung befindet und damit in die Stufe der höchsten Erodierbarkeit einzuordnen ist. Wie in Kap. 5.3 schon erwähnt, nehmen diese Böden sehr schnell Wasser auf, ihre Bindigkeit ist aber so gering, daß sie bei stärkerem Wasserangebot sehr schnell in Fließbewegung geraten, zumal eine engere Verknüpfung der Strukturelemente noch nicht gegeben ist.

Nach diesen Ergebnissen ist folgende Abstufung der Erodierbarkeit der im Untersuchungsgebiet anstehenden Böden festzustellen:

Brauner humusarmer Karbonatboden > Protorendzina > Mergelrendzina > Kalkhaltige Terra rossa.

7. Bodenschützende Maßnahmen und Bodennutzungskarte

Die Flächen der Gefahrenstufe I und Teile der Gefahrenstufe II, d. h. die ebenen Lagen der Medjerda-Aufschüttung und die daran anschließenden, schwach geneigten Flächen in unmittelbarer Flußnähe, die ohne großen technischen Aufwand in die Bewässerung einbezogen werden können, sind als Bewässerungsland ausgeschieden worden.

Das trifft vor allem im Bereich der Profilreihe I zu, wo das Bewässerungswasser direkt aus dem Fluß auf kleine Hügel gepumpt werden kann und von da aus die gesamte Fläche bewässert.

Die Böden sind ihrer Kornzusammensetzung nach in der Lage, einen größeren Wasservorrat zu speichern, da sie einen hohen Feinerdegehalt aufweisen. Ihrer Neigung zu zerschlämmen muß durch eine bessere Humuswirtschaft entgegengewirkt werden, da sonst das Wasser zu lange in den Furchen steht, bevor es einsickert und dadurch ein großer Teil unproduktiv verdunstet.

Teilweise wird das Land, das als Bewässerungsfläche vorgesehen ist, heute noch durch Oliven genutzt, doch sollen diese in Zukunft durch Obstplantagen ersetzt werden, da diese Früchte besser als Verkaufs- und Exportprodukte geeignet sind.

Daneben wird in der Hauptsache Gemüse in Bewässerungskultur angebaut. Es handelt sich in erster Linie um Artischocken, die zum großen Teil nach Frankreich exportiert werden können.

Nach den Artischocken werden Paprika, Tomaten, Limont und Melonen geerntet, die zum Eigenverbrauch bestimmt sind. Die Düngung mit Superphosphat, die zur Ertragssteigerung und zur Vermehrung der Wurzelmasse dringend geboten erscheint, stößt auf finanzielle Schwierigkeiten, da die Bauern nicht in der Lage sind, die Düngerkosten aufzubrin-

gen. Die staatliche Unterstützung in Form von Krediten ist unzureichend.

Teile der Flächen der Gefahrenstufe I und schwächer geneigten Flächen der Gefahrenstufe II, die nicht zur Bewässerung herangezogen werden können, weil sie nur mit großem technischen Aufwand, d.h. zu weite Zu- und Ableitungskanäle, Planierung u.a., dazu hergerichtet werden könnten, werden als Ackerland mit Getreideanbau genutzt. Außerdem zählt hierzu das flachwellige Gelände, das ohne besondere Vorkehrungen in Ackerkultur genommen werden kann, wenn durch geeignete Maßnahmen wie Wasserfanggräben u.a. eine Zufuhr von Fremdwasser verhindert wird.

Bei den übrigen Flächen der Gefahrenstufe II ist es möglich, mit ackerbaulichen Maßnahmen einen Schutz herzustellen. Dazu gehört die Bodenbearbeitung, die ein Einsickern der Niederschläge erleichtert und den oberflächlichen Abfluß verringert. Bei dem Minimumfaktor Wasser sind alle Maßnahmen, die dem Bodenschutz dienen, gleichzeitig unter dem Gesichtspunkt der Wassersammlung zu sehen.

Zum anderen ist im Untersuchungsgebiet auf eine möglichst langandauernde Bewachung zu achten, die den Aufprall der Niederschläge bremst und die Versickerung fördert.

Die ackerbaulichen Maßnahmen erlauben einen Schutz des Bodens bis etwa 8 % Gefälle, wenn in den Höhenlinien gepflügt wird und die Flächen im Wechsel von Dauerbegrünung, Ackerfutterflächen und Ackerland bestellt werden (KURON 1949). Es ist notwendig, Fremdwasser höherer Lagen von diesen Flächen fernzuhalten, weil dadurch Grabenerosion und Anrisse verursacht werden, die Ansatzpunkte für eine weitere starke Zerstörung der Nutzflächen bieten.

Auch bringen die Schäden durch die Überschüttung der Ackerflächen (Zwischenablagerungen) eine fortgesetzte Erosionsanfälligkeit mit sich, da das umgelagerte Material die Neigung hat, erneut in Bewegung zu geraten.

Auf den Ackerflächen sollte die unbearbeitete Brache aufgegeben werden. Die Getreideflächen liegen von Mitte Juni an brach und sind bei den im September und Oktober einsetzenden Regenfällen den aufprallenden Regentropfen schutzlos preisgegeben. Das umso mehr, als die letzten Stoppeln in der Zwischenzeit abgeweidet sind und der Tritt der Tiere zusätzlich eine Verfestigung der Bodenoberfläche verursacht hat.

Damit kann die Brache ihrer eigentlichen Aufgabe, nämlich die der Wasserspeicherung, nicht oder nur unvollkommen gerecht werden. Die Ertragsleistung der Böden für das nachfolgende Getreide kann nicht voll ausgenutzt werden. Eine weitere Forderung ist, daß nicht die gesamte Getreidefläche in einem Jahr brachliegt und im nächsten Jahr bestellt wird, sondern daß die Fläche unterteilt wird und sich Streifen mit Getreide und Brache abwechseln. Hinzu kommt eine Verbesserung oder Einführung der Humuswirtschaft, um die Struktur und das Wasserspeichungsvermögen zu erhöhen.

Die hohen Ton- und Schluffgehalte begünstigen zwar in gewissem Umfang die Verdichtung der Böden und verhindern eine rasche Einsickerung des Niederschlages durch ihren geringen Prozentsatz an groben Poren, aber diese Eigenschaften können durch bessere Pflege des Feldes ausgeglichen werden. Unter der Verdichtung leidet auch das Bodenleben und die Durchwurzelung, da durch fehlende Bearbeitung die Durchlüftung des Bodens nicht genügt.

Die Flächen der Gefahrenstufe III, die in Ackernutzung bleiben, müssen durch Streifenbau geschützt werden, d.h. es wechselt ein Streifen mit bodenschützenden Kulturen, wie Futterflächen, Dauergrünland u.a., mit weniger schützenden Kulturen ab.

Die Breite der Ackerstreifen richtet sich nach dem Gefälle, dh. die Streifen müssen so bemessen sein, daß noch eine normale Bestellung möglich ist, andererseits aber keine großen Tagwassermengen auftreten können, die den Hang gefährden würden.

Die Breite von 30 - 50 Metern wird sich nicht überschreiten lassen, da sonst das Einzugsgebiet zu groß wird und ein ausreichender Bodenschutz nicht mehr gewährleistet ist.

Bei gleichmäßigen Hängen genügt dieser Fruchtwechsel, jedoch wird es in den meisten Fällen nötig sein, auch die Streifen in den Höhenlinien anzulegen und somit zum Konturstreifenbau überzugehen.

Wechselt das Gelände stärker, tritt der Terrassenbau hinzu. Er hat die Aufgabe, Gefällemindern zu wirken und das Wasser, das auf die Terrassenfläche trifft, nach Möglichkeit vollständig aufzufangen oder aber gefahrlos abzuleiten.

Die Länge der Terrassen soll nicht mehr als 500 Meter betragen, wenn nicht von einem Scheitelpunkt aus das Wasser nach beiden Seiten abfließen kann.

Die Breite der Terrassen beträgt z. B. bei einem Boden mit mittlerem Wasseraufnahmevermögen 13,5 m, wenn 10 % Gefälle vorhanden sind (BENNET 1947).

Zur Bepflanzung der Futterflächen, zur Befestigung der Terrassen und zum Ausgleich der Ackerflächen, um rechteckige Schläge zu bekommen, können stachellose Opuntien angebaut werden, die sich auf Versuchsflächen gut bewährt haben. Sie können längere Trockenperioden gut überstehen und liefern einen hohen Massenertrag.

PÄTZOLD (1961) empfiehlt Leguminosen, die sowohl zur Fütterung dienen als auch zur Stickstoffanreicherung beitragen könnten, wenn sie bei einem eventuellen Futterüberschuß eingepflügt werden. Mit ihrem starken Wurzelsystem können sie den Boden gut aufschließen und zur Strukturverbesserung und Anreicherung mit organischer Substanz dienen.

Diese Maßnahmen sind unbedingt zu beachten, wenn Flächen der Gefahrenstufe III für den Ackerbau herangezogen werden müssen.

Die Flächen der Gefahrenstufe III, die nicht für die Ackerkultur benötigt werden, sind in Dauergrünland zu überführen. Dazu gehören in erster Linie Flächen, auf denen entweder das

Relief so stark wechselt, daß ein rationelles Arbeiten nicht mehr möglich ist, oder aber die Bodenmächtigkeit nicht ausreicht, einen erfolversprechenden Ackerbau durchzuführen. In den meisten Fällen ist es nötig, Gras und Leguminosen nachzusäen und die Weidetiere zeitweise von diesen Flächen fernzuhalten, damit sich eine geschlossene Vegetationsdecke ausbilden kann. Der Besatz der Weiden ist dem Pflanzenwuchs anzupassen, damit nicht wieder durch Überweidung die Bestände lückenhaft werden und der Erosion anheimfallen.

Die sehr stark gefährdeten Flächen der Gefahrenstufe IV sollten nach Möglichkeit durch Wald geschützt werden. Zweckmäßig ist es, von noch vorhandenen Waldresten als Ausgangspunkt für die neue geschlossene Pflanzendecke auszugehen. Zu diesem Zweck muß eine Nutzung dieser Flächen als Waldweide ausgeschlossen werden, da die Tiere durch ihren Verbiß die Naturverjüngung verhindern.

Zur Aufforstung werden kleine Konturgräben angelegt, die durch Querwände in Kammern aufgeteilt werden, um das Niederschlagswasser zu sammeln.

Den jungen Pflanzen steht durch den Wasserstau mehr Wasser zur Verfügung und es treten bei diesem Verfahren nur geringfügige Verluste auf (JUNG 1962).

Als Aufforstungspflanzen bewähren sich Tuja, Schwarzkiefer und Eukalyptus, der ein großes Längenwachstum hat, sobald er einmal angewachsen ist.

Aus dem gesamten Untersuchungsgebiet wurden 2 Teilflächen ausgewählt, die landwirtschaftlich noch interessant erscheinen, und Bodennutzungskarten erstellt (Karte 10, 11 und 12).

Der mittlere Teil des Medjerda-Gebietes ist auf Grund der steileren Geländeformen und stärkerer Bodenerosion wenig für ackerbauliche Nutzung geeignet.

Die aufgeteilten Flächen der Gefahrenstufenkarte und der Bodennutzungskarte wurden planimetriert, um die Größenver-

hältnisse aufzuzeigen und beide Karten in ihrer Aussage miteinander vergleichen zu können.

a) Flächenanteile der Gefahrenstufen in % der Gesamtfläche:

Gefahrenstufe I	30 %
Gefahrenstufe II	22 %
Gefahrenstufe III	21 %
Gefahrenstufe IV	27 %

b) Flächenanteile der Nutzungsarten in % der Gesamtfläche:

Bewässerungsland	23 %
Ackerflächen	11 %
Konturbau	11 %
Streifenbau und ev. Terrassen	15 %
Weideflächen	7 %
Wald	33 %

Vergleicht man die Flächen der Gefahrenstufenkarte mit der Bodennutzungskarte, so zeigt sich im Falle der Karte Medjez el Bab (Karte 10 und 11), wo 40 % der Fläche als Weide und Wald ausgeschieden sind, daß ihnen 48 % (Gefahrenstufe III und IV) stark bis sehr stark gefährdete Flächen gegenüberstehen. D. h., daß von den 15 % in den Streifenbau gelegten Fläche die Hälfte noch als Dauerfutterfläche genutzt werden muß, um einen ausreichenden Erosionsschutz zu geben.

Von den 52 % nicht oder nur mäßig gefährdeten Fläche ist ein Anteil von 23 % als Bewässerungsland vorgesehen, daneben 11 % als Ackerland, das keines Erosionsschutzes bedarf. Der Rest teilt sich auf in 11 % Ackerland mit Bearbeitung in den Höhenlinien (Konturbau) und die andere Hälfte der 15 % mit Streifenbau.

Im ganzen gesehen folgt daraus, daß etwa $\frac{1}{3}$ der Fläche ohne Erosionsschutz auskommt, während der übrige Teil mit mehr

oder weniger aufwendigen Maßnahmen unter Ackerkultur gehalten oder aus der Ackernutzung entfernt werden muß, so wie es die beiden Karten 10 und 11 aufzeigen.

Das gleiche Verfahren wurde bei der Karte Tebourba (Karte 10 und 12) angewendet.

a) Flächenanteile der Gefahrenstufe in % der Gesamtfläche:

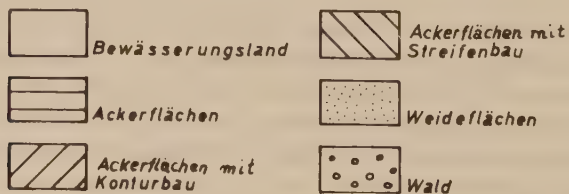
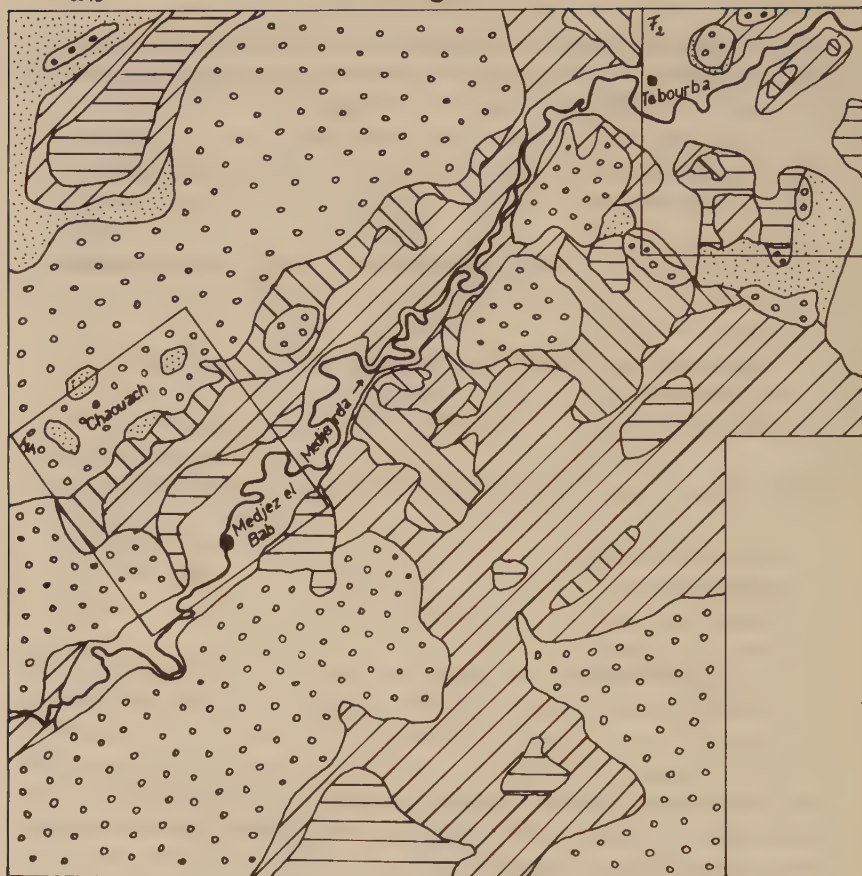
Gefahrenstufe I	45 %
Gefahrenstufe II	38 %
Gefahrenstufe III	11 %
Gefahrenstufe IV	6 %

b) Flächenanteile der Nutzungsarten in % der Gesamtfläche:

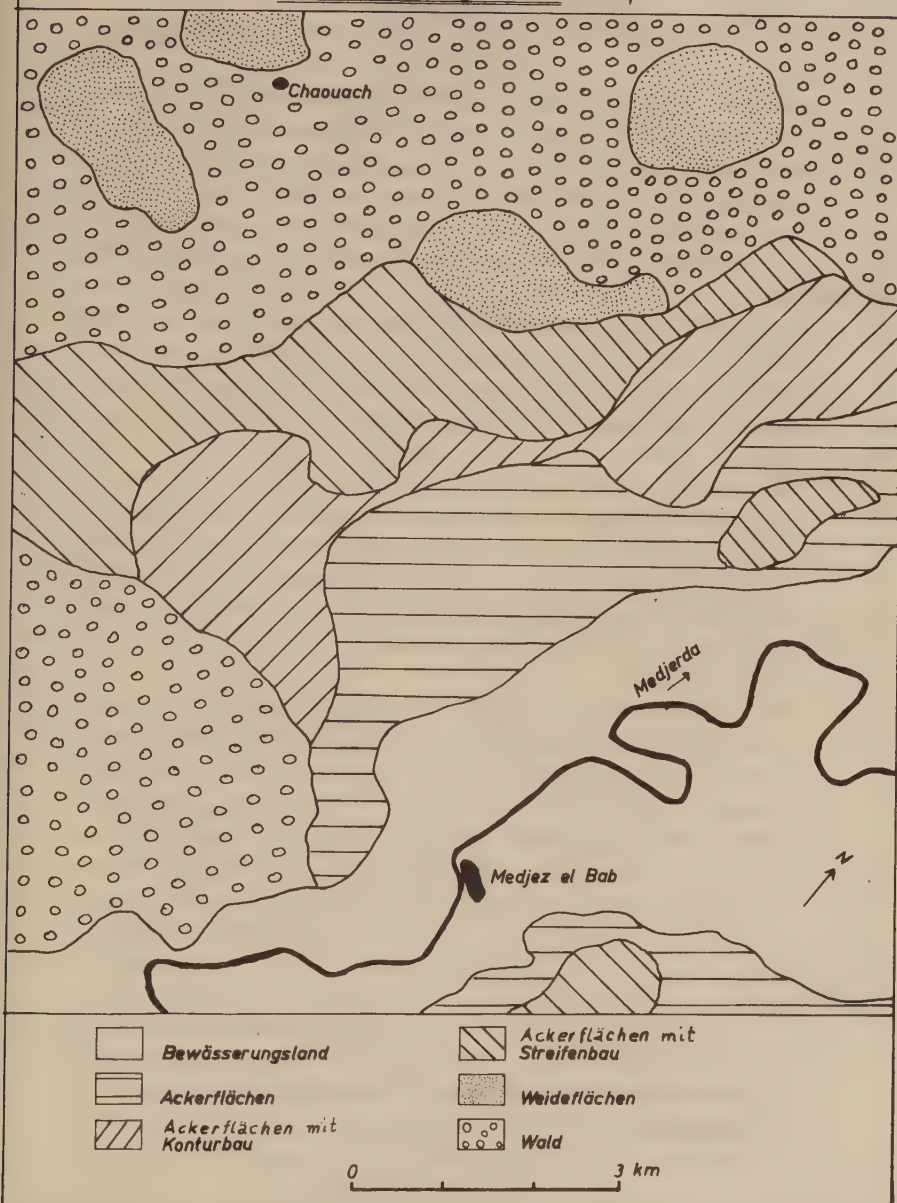
Bewässerungsland	56 %
Ackerflächen	11 %
Konturbau	15 %
Streifenbau und ev. Terrassen	3 %
Weideflächen	9 %
Wald	6 %

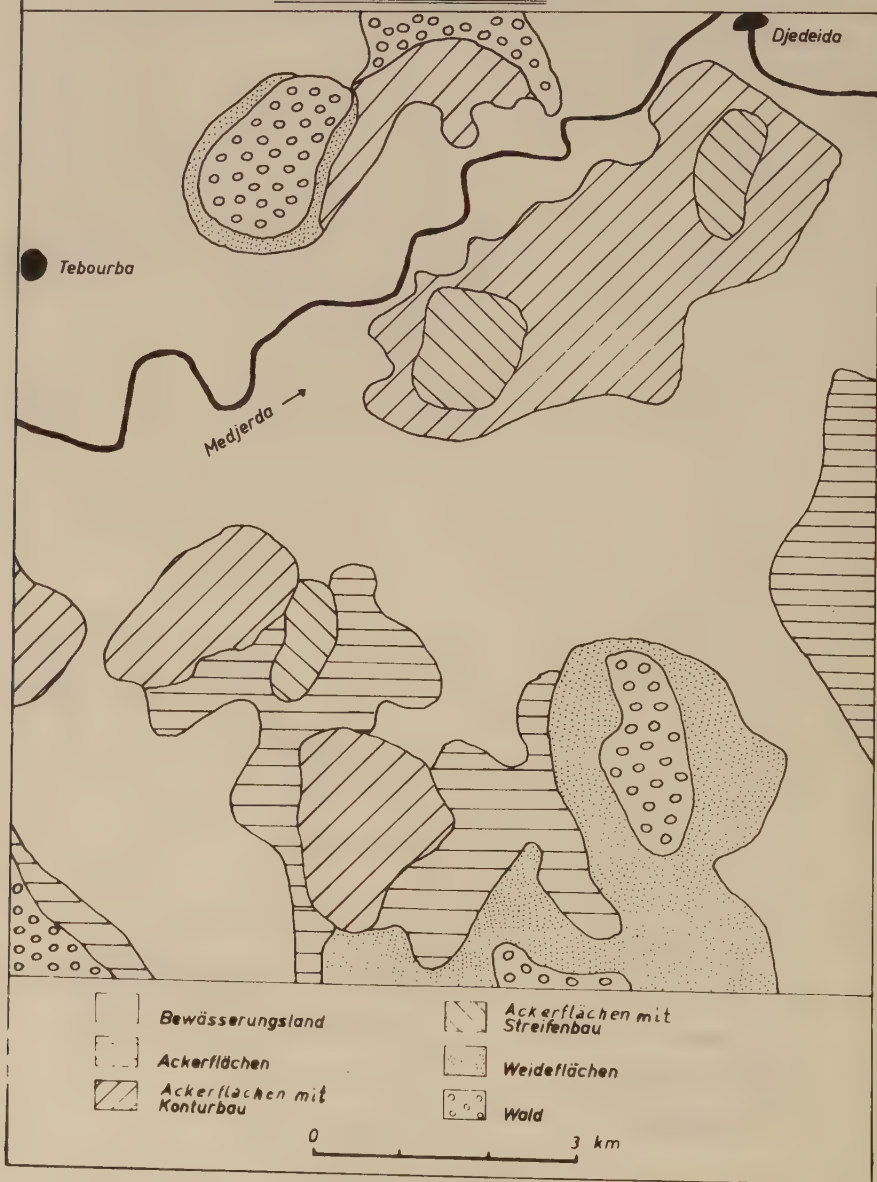
Bei der Karte Tebourba liegen die Verhältnisse günstiger. Hier sind nur 17 % der Fläche stark bis sehr stark gefährdet. Davon sind 15 % der Nutzungsfläche für Wald und Weideland vorgesehen.

83 % der Fläche sind nicht oder nur mäßig gefährdet, so daß ein Anteil von 56 % als Bewässerungsfläche und 11 % Ackerland ohne Maßnahmen für den Erosionsschutz vorhanden ist. Durch Bearbeitung in den Höhenlinien müssen 15 % der Fläche geschützt werden und nur ein geringer Teil von 3 % erfordert Schutzmaßnahmen größeren Umfangs. Bei dem großen Angebot an Ackerland wäre es sicherlich am einfachsten, wenn diese Fläche ebenfalls ganz aus der Ackernutzung herausgenommen und in Weideland oder Wald umgewandelt werden würde.



0 10 km





8. Zusammenfassung

Die Böden im Medjerda-Tal in Nord-Tunesien werden auf Grund der dort herrschenden Klimabedingungen landwirtschaftlich genutzt. Ihre Leistungsfähigkeit ist aber stark abhängig vom Einfluß der Bodenerosion durch Wasser. Es sollte festgestellt werden, in welchem Ausmaß die Böden selbst und in welchen Größenordnungen die Hangflächen beeinträchtigt werden.

1. Nach einem kurzen allgemeinen Überblick über Klimaverhältnisse und Landwirtschaft in Tunesien, wird der Einfluß der Besiedlung und der Bewirtschaftung auf die Vorgänge der Bodenerosion in der Vergangenheit geschildert.
2. Neben der Aufnahme einiger im Untersuchungsgebiet des Medjerda-Tales anstehender Böden, wurden zur Erfassung der Bodenerosion 4 Profilreihen in verschiedenen Lagen über die Hangflächen bis in die Senke aufgenommen, um durch den Vergleich der einzelnen Profile dieser Reihen die Entwicklung zu erfassen.
3. Die Felduntersuchungen wurden durch Geländestudium, Aufnahme der Vegetationsdichte (Nutzungsform), Geländeneigung, Starkregendichte und Luftbildauswertung ergänzt. Im Laboratorium wurden die entnommenen Bodenproben analysiert, um an Hand der Ergebnisse die Veränderungen der Böden auch in der Nährstoff- und Kornverteilung festzustellen. Röntgenanalysen der Tonfraktion, Bestimmung der kapillaren Wasseraufstiegsgeschwindigkeit ergänzten diese Untersuchungen.
4. Die Feldbeobachtungen und Luftbildauswertung in Verbindung mit den Analysendaten ermöglichten die Schilderung der Bodenverlagerung entlang der gewählten Profilreihen und führten neben einer Erosionskarte, die die eingetretenen Schäden aufzeigt, zur Erstellung einer Bodenerosionsgefahr-

renstufenkarte. Diese Karte gibt die Erosionsgefährdung einzelner Flächenteile des Untersuchungsgebietes an. Die Flächen sind in 4 Gefahrenstufen eingeteilt. Für jede Stufe ist gleichzeitig die Bekämpfungsmaßnahme zur Boden-
erhaltung angegeben.

5. Der Einfluß der Bodenerosion auf die Ausbildung der Bodentypen wurde auf Grund der vorliegenden Ermittlungen besonders hervorgehoben und ihre Erodierbarkeit festgestellt.
6. Als Vorschlag für eine geeignete Nutzung der gegebenen Flächen und Böden wurde eine Nutzungskarte erstellt, aus der die zweckmäßige Bewirtschaftungsweise hervorgeht und welche Flächen intensiv durch Bewässerung genutzt werden können.
7. Die unterschiedlicher Nutzung unterliegenden Flächen wurden planimetriert und in Prozenten der Gesamtfläche angegeben, wobei zwei Teilgebiete, die besonders für landwirtschaftliche Nutzung geeignet sind, gesondert dargestellt wurden.
8. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß an den Hangflächen starke Bodenzerstörungen und damit Schädigungen der landwirtschaftlichen Erzeugung eintraten, da unter den herrschenden Klimaverhältnissen öfter intensive Starkregen auftreten, die bei lückenhafter oder fehlender Vegetation diese Schäden auslösen.
Die einzelnen Bodenformen verhalten sich unterschiedlich in ihrer Widerstandsfähigkeit. Mergelrendzinen und umgelagerte kalkhaltige Terra rossa zeigten die höhere Stabilität gegenüber Bodenerosion, während humose und besonders humusarme Karbonatböden sehr leicht dem Abtrag anheim fallen.

8. Literaturverzeichnis

1. Afrika-Bulletin Nr. 26, Bonn 1962
2. AGAFONOFF, V. Sols Types de Tunisie, Tunis 1936
3. BENNETT, H.H. Elements of Soil Conservation,
New York 1947
4. BERNARD, A. Afrique Septentrionale et Occi-
dentale. Géographie universelle,
Paris 1937
5. BOISSIERE, G. Esquisse d'une histoire de la
conquête et de l'administration
romaines dans le Nord de l'Afrique,
Paris 1878
6. BOULAIN, J. Facteurs de Formation des sols
méditerranéens. Sols Africains,
5 - 6, Paris 1960-61
7. BOULAIN, J. Sur les facteurs climatiques de
la genèse des sols rouges.
Conference sur sols méditerranéens,
Madrid 1966
8. BUTZER, K.W. Studien zum vor- und frühgeschicht-
lichen Landschaftswandel der Sahara.
Abh. d. math.nat. Klasse,
Mainz 1958
9. CASTANY, G. Carte Géologique de la Tunisie
1 : 500 000, Tunis 1951

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 10. CASTANY, G. | Paléogéographie, Tectonique et
Orogénèse de la Tunisie,
Tunis 1952 |
| 11. Climatologie de
la Tunisie | Tunis 1952 |
| 12. COINTEPAS, J.P. | Les sols rouges et brunes me-
diterranéens de Tunisie.
Conference sur sols mediterranéens,
Madrid 1966 |
| 13. CORNEVIN, R. et M. | Histoire de l'Afrique des origines
à nos jours,
Paris 1966 |
| 14. DESPOIS, J. | La Tunisie, Paris 1961 |
| 15. DESPOIS, J. | L'Afrique du Nord, Paris 1964 |
| 16. DURAND, J.H. | Les Sols D'Algérie, Alger 1954 |
| 17. ENSLIN, O. | Über einen Apparat zur Bestimmung
der Flüssigkeitsaufnahme von
quellbaren und porösen Stoffen
und zur Charakterisierung der
Benetzbarkeit.
Chem. Fabriken,
Berlin 1933 |
| 18. FIEDLER, H.J.
REISSIG, H. | Lehrbuch der Bodenkunde,
Jena 1964 |

19. FRANZ, H. Feldebodenkunde als Grundlage der
Standortsbeurteilung und Bodenwirt-
schaft mit besonderer Berücksichti-
gung der Arbeit im Gelände.
Wien und München 1960
20. GANSSEN, R. Trockengebiete. Böden, Bodennutzung,
Bodenkultivierung, Bodengefährdung,
B.I. Hochschultaschenbuch Nr. 354/354a,
Mannheim 1968
21. GSELL, St. Histoire Ancienne de l'Afrique
Du Nord, Tome IV, Paris 1920
22. JULIEN, Ch.-A. Histoire de l'Afrique du Nord,
Paris 1961
23. JUNG, L. Zur Frage der Nomenklatur erodierter
Böden. Mitt. d. Inst. f. Raumfor-
schung, H. 20, Bad Godesberg 1953
24. JUNG, L. The influence of the stone cover
on run-off and erosion on slate soil
I.A.S.H. Nr. 53 Comm. of Land ero-
sion 1960
25. JUNG, L. Beobachtungen und Untersuchungen
über Bodenerosion in Thrazien und
West-Anatolien. Z. f. Kulturtechnik,
3. Jahrg., H. 6, S. 337-355, 1962
26. JUNG, L. Böden der Trockengebiete.
Weidewirtschaft in Trockengebieten.
Gießener Beiträge zur Entwicklungs-
forschung. Reihe I (Symposien) Bd. 1,
Stuttgart 1965, S. 51-59

27. JUNG, L.
ROHMER, W. Vergleichende Untersuchungen über die Eignung von Natriumpyrophosphat und Calgon zur Dispergierung von CaCO_3 -haltigen sowie tonreichen Böden. Ztschr. f. Kulturtechn. und Flurbereinigung, 7. Jg., H. 5, 1966, S. 268-273
28. KOCH, H. Tunesien, Bonn 1959
29. KÖHN, M. Beiträge zur Theorie und Praxis der mechanischen Bodenanalyse, Landw. Jb. 67, 1928
30. KOHL, F. Die Bodenkarte 1 : 25 000, Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung, Hannover 1965
31. KRATZ, L. Die Glaselektrode und ihre Anwendung. Wissenschaftl. Forschungsberichte. Naturwiss. Reihe Bd. 59, Frankfurt/M 1950
32. KURON, H. Maßnahmen zur Bekämpfung der Boden-erosion. Dt. Landwirtschaft Bd. 3, 1949, S. 70 ff.
33. KURON, H.
JUNG, L.
SCHÖNHALS, E.
WEBER, H. Landwirtschaft und Bodenerosion I Der Roßbacher Hof bei Erbach im Odenwald. Mitteilungen aus dem Institut für Raumforschung Bonn, H. 23, Bad Godesberg 1954

34. LEITER, H. Die Frage der Klimaänderung während geschichtlicher Zeit in Nordafrika, Wien 1909
35. MACHATSCHKEK, F. Das Relief der Erde I, Berlin 1955
36. MEHLICH, A. Bestimmung der Sorptionskapazität des Bodens. Soil Sci. 66, 1948
37. MENSCHING, H. Tunesien, Darmstadt 1968
38. MUNSELL Soil color charts, Baltimore 1954
39. PARRISH, W. Data for x-Ray Analysis Vol 1, MACK, M. New York 1963
40. PÄTZOLD, H. Hauptformen des Futterbaues in den wichtigsten Klimazonen der Erde, Berlin 1961
41. RAUTERBERG, E. Eine Schnellmethode zur Bestimmung SANDHOFF, H. der Humusstoffe im Boden. Ztschr. f. Pflanzenern., Düngung und Bodenkde. 55 (1951) 15
42. RAYMOND, A. La Tunisie, Paris 1961
43. RICHTER, G. Bodenerosion. Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland, Bad Godesberg 1965

44. RIEHM, H. Die Ammoniumlaktat-Essigsäure-Methode zur Bestimmung der leichtlöslichen Phosphorsäure in karbonathaltigen Böden. *Agrochimika*, 3, Pisa 1959
45. SAVORNIN, J. La Géologie Algérienne et Nord-Africaine, Paris 1931
46. SCHEFER, F. Lehrbuch der Bodenkunde, SCHACHTSCHABEL, P. Stuttgart 1966
47. SCHEIBLER, C. Gasvolumetrische Bestimmung der Kohlensäure. Wiessmann-Nehring Agrikulturchemisches Praktikum, Berlin 1951
48. SHAMALI, K. Zur Kenntnis der Böden des Jordangrabens unter besonderer Berücksichtigung der Tonminerale, Diss. Gießen 1966
49. SIMAKOVA, M.S. Soil Mapping by Color Aerial Photographie, Moskau 1959
50. SOLIGNAC, M. Etude géologique de la Tunisie septentrionale, Tunis 1927
51. SWINEFORD, A. Clays and Clay Minerals. Proceedings of the Tenth National Conference on Clays and Clay Minerals, Austin/Texas 1961
52. Tables of Temperature, Relative Humidity and Precipitation for the World. Part IV, London 1958

53. TAUBERT, K. Der Sahel von Sousse und seine
Randlandschaften. Naturgeographische
Voraussetzungen und postkoloniale
Entwicklung einer alten tunesischen
Kulturlandschaft.
Jb. d. Geograph. Gesellsch. zu
Hannover, Hannover 1967
54. THUN, R. Die Untersuchung von Böden,
HERRMANN, R. Radebeul und Berlin 1955
KNICKMANN, E.
55. TRIBUTH, H. Die Bedeutung der erweiterten Tön-
fraktionierung für die genauere
Kennzeichnung des Mineralbestandes
und seiner Eigenschaften,
Diss. Gießen 1967
56. VAGELER, P. Zur Bodengeographie Algiers,
Gotha 1955
57. WEINMANN, B. Die Böden der Insel Kefallinia,
Diss. Gießen 1964
58. WIESSMANN, H. Agrikulturchemische Untersuchungs-
methoden, Berlin 1951
59. WISCHMEIER, W.H. Soil-loss estimation as a tool in
SMITH, D.D. soil and water management planning.
Internat. Assoc. of Scient. Hydro-
logy, Commission of Land Erosion
Symposium of Bari, Gentbrugge 1962

9. Bilder



Aufschüttung am
Medjerda (I E₇)

(Aufn. Dr. W. Rohmer)

Abb. 1



Höhenprofil der Pro-
filreihe III (III E₁)

(Aufn. Dr. W. Rohmer)

Abb. 2



Abb. 3: Hangfläche mit der Profilreihe III. Im Vordergrund Weidefläche, am Hangfuß Pflanzlöcher für Oliven.
(Aufn. Dr. W. Rohmer)

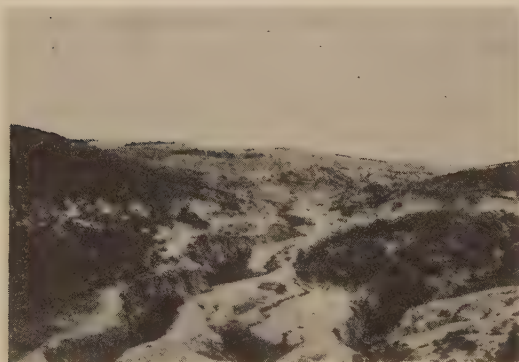


Abb. 4: Grabenerosion im Untersuchungsgebiet.
(Aufn. v. Verf.)



Abb. 5: Blick in das Untersuchungsgebiet in
Richtung SSO. (Aufn. v. Verf.)

Zum Abschluß dieser Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr. L. Jung für die Überlassung des Themas, die finanzielle Förderung und die Unterstützung bei der Durchführung und Fertigstellung der Arbeit meinen herzlichen Dank aussprechen.

Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr. E. Schönhals für die wertvollen Anregungen im Gelände und die kritische Durchsicht des Manuskriptes meinen Dank abstatten.

Herrn wiss. Assistent Dr. W. Rohmer bin ich für die Hilfe bei der Auswahl der Profile zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Am 21. Juli 1940 wurde ich als Sohn des Studienrats Karl Brechtel und seiner Ehefrau Anna, geb. Wolfenstädter in Dieburg/Hessen geboren.

In den Jahren 1946 - 1950 besuchte ich die Volksschule in Dieburg, anschließend die Georg-Büchner-Schule in Darmstadt, wo ich 1960 mein Abitur ablegte.

Danach war ich 2 Jahre als Landwirtschaftslehrling in Neuß/Rh. tätig und schloß mit der Gehilfenprüfung meine Praktikantenzeit ab.

Von 1962 - 1966 studierte ich an der Justus Liebig-Universität Gießen Landwirtschaft und beendete mein Studium mit der Diplomhauptprüfung.

Seit Juli 1966 bin ich mit der Erstellung der vorliegenden Dissertation beschäftigt.

FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641-77449